

Maria Lia Felizarda Freitas

LABORATÓRIO DE FÍSICA EM TIMOR-LESTE: CRIAÇÃO DE UM CURRÍCULUM EM ÓTICA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Física e
Química em Contexto Escolar.

Orientador: Prof. Dr Manuel Joaquim B. Marques

Coorientadora: Prof.^a Dra Maria de Fátima G. da Mota



Departamento da Física e Astronomia

Departamento de Química e Bioquímica

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Julho 2018

Agradecimentos

Chegar até aqui não foi um percurso fácil. Deparei-me com vários obstáculos e enfrentei muitos desafios. Mas não consegui sozinha, tive apoio de professores, amigos, familiares e de outras pessoas importantes na minha vida.

Por isso quero manifestar o meu agradecimento e a minha gratidão a todos aqueles que, direta e indiretamente de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho:

Ao meu orientador Professor Doutor Manuel Joaquim Bastos Marques e à minha coorientadora Professora Doutora Maria de Fátima Gonçalves da Mota, pelo privilégio das suas orientações, pelo constante apoio, pelo seus ensinamentos e disponibilidade e tolerâncias, toda ajuda e encorajamento, corrigir deste trabalho, pelo tempo que me dedicam em todos os momentos deste trabalho.

Aos alunos do segundo ano semestre III do Ensino da Física-FEAH, pela sua disponibilidade para participarem neste trabalho.

Ao diretor do Mestrado em Física e Química em Contexto Escolar, o Professor Doutor Joaquim Gonçalves, que sempre me ajudou desde o primeiro momento em que iniciei o mestrado. Sempre me deu apoio na parte curricular do Curso, mostrando disponibilidade como guia e no processo de ensino.

À diretora do Mestrado em Física e Química em Contexto Escolar, a Professora Doutora Maria Agostinha Ribeiro de Matos, pela sua disponibilidade e amabilidade.

Aos meus professores que me ensinaram no curso de Mestrado, pela compreensão e atenção ao longo deste meu percurso: Professora Carla Morais, Professora Ana Reis, Professor João Paiva, Professor Jorge Paramos, Professor Jorge Gameiro, Professor Paulo Simeão, Professora Carla Rosa, Professor Manuel Joaquim B. Marques, Professora Maria de Fátima G. da Mota, e o Professor João Lima;

Aos meus pais, irmãos, a minha sogra, por todo a compreensão e pelo apoio, e todos os meus amigos e família no geral pela preocupação e incentivo ao longo deste periodo de trabalho.

Ao meu marido, Vital de Jesus Ximenes e aos meus filhos, Thalia, Vitaliano, Vitaliana e Letichia pela enorme paciência e incentivo nos momentos menos bons e por tudo os seus amores, carinhos que me serviram deste sempre apoio.

Agradeço também:

À Universidade Nacional de Timor Lorosa'e - UNTL, que me mandou para Portugal para fazer o curso de mestrado, lugar onde me desenvolvi profissionalmente e onde desenvolvi as minhas capacidades, o que poderá contribuir o financeiro deste curso atraves de bolsa estudo do Instituto Camoes IP ao longo do meu percurso do estudo na Universidade do Porto.

À Dra Carla Augusto na Faculdade de Letras da Universidade do Porto - FLUP e ao Professor João Paiva que me deram o apoio e atenção para tratar a renovação bolsa do estudo durante o meu percurso aqui.

Resumo

O objetivo principal do meu trabalho foi criar um programa laboratorial de Ótica, correspondente à unidade curricular Ótica do departamento de Ensino da Física (DEF), da Universidade Nacional de Timor Lorosa'e (UNTL).

O trabalho dividiu-se em três fases: a primeira desenvolveu-se no DEF e consistiu no levantamento exaustivo das condições/equipamento já existente. A segunda parte foi realizada no departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (DFA/UP) e constou na montagem de experiências, criação de materiais e elaboração de protocolos. A terceira parte foi um trabalho realizado no laboratório do DEF, com os estudantes da UNTL do semestre III, do segundo ano da licenciatura de Ensino da Física, a que se seguiu uma análise dos resultados obtidos.

No texto que se segue torna-se evidente que o trabalho desenvolvido foi apenas um passo na criação do laboratório de Ótica. Há sérias limitações de espaço e de material na UNTL.

Palavras chave: Ótica, Física, Trabalho laboratorial, Timor.

Abstract

The main objective of my work was to create a laboratory program of Optics, corresponding to the optical course of the Department of Physics Teaching (DEF), of the National University of Timor Lorosa'e (UNTIL).

The work was divided in three phases: the first one developed in the DEF and consisted in the exhaustive survey of the existing conditions/equipment. The second part was held in the Department of Physics and Astronomy of the Faculty of Sciences of the University of Porto (DFA/UP) and included the assembly of experiments, the creation of materials and the elaboration of laboratorial protocols. The third part was a work done in the DEF laboratory, with the students of the UNTL of the second year (semester III) of the course of Teaching of Physics, which is followed by an analysis of the results obtained.

In the text that follows, it becomes evident that the work developed was only a step in the creation of the laboratory of Optics. There are serious space and material limitations in UNTL.

Keywords: Optics, Physics, Laboratory work, Timor.

Rezumu

Objetivu prinsipál husi hau nia servisu ne'e mak kria ou harii programa laboratoríal Ótika ida, ne'ebe análogu ho unidade kurikular Ótika ne'ebe iha Departamento do Ensino da Física (DEF), Universidade Nacional Timor Lorosa'e (UNTL).

Traballu ou servisu hafahen ba faze tolu: dahuluk hahu iha DEF no ida ne'e hahu halo lavantamentu esensiál kona-ba kondisaun/ekipamentu sira mak iha ona. Faze daruak, hala'o iha Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (DFA/UP) hahu halo montagem ba esperimentu, kria materiál no elabora protokolu sira. Faze datoluk mak hala'o servisu iha laboratóriu DEF nian, hamutuk ho estudante lisensiatura ensinu Fízika semestre III, tinan daruak UNTL, ne'ebé ikus mai halo análise ba rezultadu sira mak hetan.

Iha testu ne'ebé tuir mai sei hatudu katak servisu ne'ebe dezenvolve hanesan matadalan ida hodi kria laboratóriu Ótika. Iha limitasaun barak liu-liu fatin no materiál iha UNTL.

Liafuan Xave sira: Ótika, Fízika, Servisu laboratoríal, Timor.

Índice geral

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | ii |
| Resumo | iii |
| Abstract | iv |
| Resumu | v |
| Índice geral | vi |
| Índice de figuras | viii |
| Índice de tabelas..... | ix |
| Capítulo I – Estratégias na criação do laboratório..... | 1 |
| Capítulo II - Notas breves de Ótica | 3 |
| II.1 - A história da Ótica | 3 |
| II-2 - A Física dos trabalhos de Ótica | 6 |
| II.2.1 - As leis da reflexão e da refração da luz | 6 |
| II.2.2 - Estudo de espelhos esféricos..... | 9 |
| II.2.3 Estudo de lentes | 11 |
| II.2.4 Lei do inverso do quadrado das distâncias | 15 |
| II.2.5 Difração..... | 15 |
| II.2.6 Polarização e verificação da lei de Malus | 18 |
| Capítulo III - Trabalho no DFA-FCUP | 21 |
| III.1 - Relevância da prática laboratorial no ensino da Ótica | 21 |
| III.2 Organização do laboratório e trabalho no DEF-FEAH | 24 |
| III.3 Elaboração dos protocolos e aferição de conhecimentos | 25 |
| Capítulo IV – Resultados do trabalho laboratorial executado na UNTL | 27 |
| IV.1 A amostra do estudo e o calendário da realização os trabalhos laboratoriais no DEF – FEAH..... | 27 |
| IV.2 Realização e utilização dos materiais nas atividades laboratoriais..... | 28 |
| IV.3 Instrumentos de análise | 30 |
| IV.3.1 Protocolo | 30 |
| IV.3.2 Questionário | 30 |
| IV.3.3 Análise dos Questionários | 30 |
| Capítulo V – Notas finais..... | 36 |
| V.1 Principais conclusões do estudo | 36 |
| V.2 Algumas reflexões sobre o trabalho desenvolvido | 36 |

| | |
|--|----|
| V.3 Algumas sugestões para investigações futuras | 37 |
| Referências Bibliográficas..... | 38 |
| Anexo 1 - Protocolos laboratoriais | 39 |
| AS LEIS DA REFLEXÃO E DA REFRAÇÃO DA LUZ | 40 |
| DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA FOCAL DE ESPELHOS ESFÉRICOS | 44 |
| UM ESTUDO SOBRE LENTES..... | 48 |
| UM ESTUDO SOBRE A VARIAÇÃO DE INTENSIDADE LUMINOSA DE UMA FONTE PONTUAL COM A DISTÂNCIA À FONTE..... | 54 |
| DETERMINAÇÃO DE UM PADRÃO DE DIFRAÇÃO..... | 56 |
| UM ESTUDO DE POLARIZAÇÃO E VERIFICAÇÃO DA LEI DE MALUS | 59 |
| ANEXO 2 - Resultados das experiências realizadas no DFA-UP | 63 |
| Trabalho laboratorial 1 - As leis da reflexão e da refração | 64 |
| Trabalho laboratorial 2 -Um estudo sobre espelhos esféricos | 65 |
| Trabalho laboratorial 3 - Um estudo sobre lentes..... | 66 |
| Trabalho laboratorial 4 - Um estudo sobre a variação de intensidade luminosa com a distância à fonte. | 68 |
| Trabalho laboratorial 6 – Um estudo da difração..... | 69 |
| ANEXO 3 - Os questionários | 70 |
| ANEXO 4 - Resultados do trabalho laboratorial implementada em Dili | 80 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – A propagação da luz que atravessa de 2 meios diferentes | 6 |
| Figura 2 - A propagação da luz atravessa uma superfície entre dois meios diferentes (a) do meio menos refringente para mais refringentes; (b) do meio mais refringente para o meio menos refringente. | 7 |
| Figura 3- Refração da luz na fronteira entre dois meios | 8 |
| Figura 4 espelhos esféricos..... | 9 |
| Figura 5 Trajetória de um raio refletido numa superfície esférica | 10 |
| Figura 6 Principais raios em espelhos esféricos. (a) côncavos, (b) convexo | 11 |
| Figura 7 Construção da imagem em espelhos esféricos. (a) Côncavo, (b) convexo | 11 |
| Figura 8 Os raios na lente convergente e divergente..... | 12 |
| Figura 9 Trajetória de um raio ao atravessar uma lente | 12 |
| Figura 10 Raios principais (a) convergentes e (b) divergentes | 13 |
| Figura 11 Formação imagem na lente convergente..... | 14 |
| Figura 12 Difração de Fraunhofer..... | 16 |
| Figura 13 Difração por uma fenda simples (elaborada pelo pesquisador)..... | 17 |
| Figura 14 Padrão de difração produzida por uma fenda de abertura d | 17 |
| Figura 15 Polarizador linear..... | 19 |
| Figura 16 Polarizador e analisador lineares- lei de Malus. | 20 |
| Figura 17 Imagem laboratório DEF-FEAH | 24 |
| Figura 18 Gráfico com a representação da percentagem de respostas à questão geral 1. | 31 |
| Figura 19 Gráfico com a representação da percentagem de respostas à questão geral 2. | 31 |
| Figura 20 Gráfico com a representação da percentagem de respostas à questão geral 3. | 32 |
| Figura 21 Gráfico com a representação da percentagem de respostas às questões específicas (1) T1 ao T5 | 33 |
| Figura 22 Gráfico com a representação da percentagem de respostas às questões específicas 2 do T1 ao T5 | 34 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Objetivos do TL sugeridos por Kerr (1963), citado por Silva, 2006. | 22 |
| Tabela 2 Objetivos do TL sugeridos por Hofstein & Lunetta (1982). Adotado de (Silva 2006). | 23 |
| Tabela 3 Calendário da realização na UNTL | 27 |
| Tabela 4 Respostas sobre o tempo da realização do TL | 31 |
| Tabela 5 Questão sobre montagem dos equipamentos no TL..... | 31 |
| Tabela 6 utilização as instruções fornecidas no TL..... | 32 |
| Tabela 7 Respostas sobre a compreensão e o conhecimento dos estudantes | 33 |
| Tabela 8 Respostas sobre a compreensão e o conhecimento dos estudantes | 34 |

Capítulo I – Estratégias na criação do laboratório

Este trabalho constitui a minha dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Física e Química em Contexto Escolar, na Faculdade Ciências da Universidade do Porto. É um projeto do ensino de Ótica que tem como população-alvo os alunos timorenses, do departamento de Ensino da Física, da Faculdade de Educação, Artes e Humanidade (FEAH) na Universidade Nacional de Timor Lorosa'e, em Díli-Timor Leste.

Timor Leste é um país independente, muito jovem, que enfrenta claros problemas na sua vida como estado e como nação, e em particular nas áreas de educação, da saúde e da economia. Destes problemas o mais importante e fundamental é o problema do desenvolvimento da área de educação, pois, este é o ponto de partida e determinante no fornecimento dos recursos humanos de qualidade, que obviamente, são imprescindíveis para o desenvolvimento de um povo.

Neste sentido, foi criada, em 2000, a Universidade Nacional de Timor Lorosa'e uma (única) universidade pública em Timor Leste, à qual se exige que seja o pilar principal na formação avançada em várias áreas científicas e tecnológicas, formando os recursos humanos de Timor Leste com qualidade adequada e competitiva.

A UNTL desenvolveu, durante dezoito anos da sua existência, vários esforços para elevar e melhorar a qualidade dos seus serviços académicos e administrativos, de modo a concretizar o seu grande objetivo. Um passo importante foi dado em 2013, com o estabelecimento de um currículo académico atualizado, adotando o sistema Europeu de ECTS (European Credit Transfer System).

A UNTL tem várias faculdades e entre elas a Faculdade de Educação, Artes e Humanidade na qual há vários departamentos. É aqui que se integra o departamento de Ensino da Física.

No departamento do Ensino da Física existe um laboratório e algum equipamento para as diferentes unidades curriculares, mas ainda não é suficiente. Por exemplo, não há fontes de luz fixas e não dispõe de qualquer protocolo para as atividades experimentais. O espaço reservado para os laboratórios é exíguo. Frequentemente são adquiridas componentes laboratoriais, mas se ocorre um problema são imediatamente desativados pois não se dispõe de oficina própria para reparar.

Sabemos que a Física é uma ciência que estuda as leis que regem os fenómenos e é uma ciência experimental, é necessário um laboratório para melhorar a compreensão dos temas expostos nas aulas teóricas, e envolver os estudantes nos temas. A Ótica é uma parte da Física e estuda entre outras temas, a luz e a visão. A luz e a visão sem as quais nenhuma atividade humana seria possível.

Como resultado deste trabalho será criado/melhorado um laboratório de Física na Universidade Nacional Timor Lorosa'e, no departamento de Ensino da Física, no domínio da Ótica.

A escolha do tema tem uma razão: eu trabalho na Formação de Professores no Departamento de Ensino da Física e aqui leciono a disciplina de Ótica, para os alunos do 3º semestre.

O laboratório que preparei no âmbito deste projeto recorre a materiais simples, de baixo custo e fáceis de replicar. Ainda dentro deste projeto aprendi a construir pequenos equipamentos e a reparar alguns problemas. Todas as experiências estão inseridas no curriculum em Ótica no ensino da Física da UNTL.

O trabalho desenvolve-se em três fases:

- A fase inicial consistiu essencialmente em escolher os espaços em Dili, no Departamento de Ensino Física, onde as atividades experimentais devem ser colocadas, e fazer um levantamento do equipamento já existente que possa ser utilizado nas experiências a montar. Esta fase decorreu no mês de setembro de 2017.
- Na fase seguinte foi feita a escolha de possíveis experiências a desenvolver, tendo em vista a coordenação com os currículos e a facilidade de replicação e de reparação. Foi nesta fase que começamos a montagem de experiências, fizemos os testes experimentais e elaboramos os protocolos correspondentes. Esta fase decorreu no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (DFA-UP), durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2017.
- Na terceira fase foi feito o teste das experiências desenvolvidas com os alunos do UNTL. Esta fase decorreu durante os meses de fevereiro, março e abril de 2018.

A dissertação está organizada em cinco capítulos, que serão a seguir brevemente resumidos.

No capítulo I - denominado *Estratégias na criação do laboratório*, são apresentadas a introdução e as razões de escolher este tema, e os objetivos do trabalho.

No capítulo II - intitulado *Notas breves sobre Ótica*, disserta-se sobre a história da Ótica e fazemos um resumo da teoria subjacente aos trabalhos experimentais.

No capítulo III – intitulado *Trabalho laboratorial no DFA*, além de um parágrafo sobre a relevância do trabalho no laboratório no contexto do ensino da Ótica, descrevemos o trabalho realizado no DFA-UP.

No capítulo - IV apresentamos o trabalho realizado na UNTL.

Por fim no capítulo denominado *Notas finais* apresentam-se as conclusões do estudo e juntam-se algumas reflexões sobre trabalho desenvolvido, bem como algumas implicações para a prática e a atividade laboratorial que se desenvolve na universidade, em particular no laboratório de Física. Fazem-se também algumas recomendações para investigações futuras, de modo a que este projeto possa ser complementado com a criação de laboratórios noutras áreas da Física.

O trabalho inclui, ainda, uma seção com as referências bibliográficas utilizadas.

Capítulo II - Notas breves de Ótica

“Não precisamos apagar a luz do próximo para que a nossa brilhe.”
Mahatma Gandhi

II.1 - A história da Ótica

A Ótica é muito importante para os seres vivos porque a Ótica é a ciência relacionada com a iluminação e a visão. A Ótica intervém em vários domínios da vida humana como a medicina (oftalmologia, optometria, lasers, ...), a ciência dos materiais, a comunicação (fibras óticas, ...), etc. Além disso, há vários capítulos da Ótica que são simples e suscetíveis de serem ensinados aos alunos do ensino secundário.

A palavra Ótica vem do Grego: “*optikos*” - relativo à luz e visão. A Ótica é a parte da Física que estuda a luz e a sua propagação.

A Ótica divide-se em três domínios:

- i) O primeiro consiste em considerar que o comprimento de onda da luz é zero, isto é, ignora a difração e a interferência. A luz é aproximada a um raio que se propaga entre dois pontos de acordo com princípio de Fermat: *O caminho percorrido por um raio entre dois pontos é o que minimiza o tempo do percurso.*
Esta é o domínio da Ótica Geométrica, para o qual contribuíram cientistas como Newton, Fermat, Snell e Descartes, entre outros.
- ii) O segundo considera o carácter ondulatório da luz e consequentemente os fenómenos de interferência, da polarização, da difração, da dispersão, entre outros. Há muitos fenómenos que não podem ser explicados usando apenas a propagação retilínea da luz. Este é o domínio da Ótica Ondulatória ou Ótica Física. Alguns dos cientistas que contribuíram para a construção desta parte da Ótica foram Huygens, Fresnel, Fraunhofer, Brewster e Malus.
- iii) Com o desenvolvimento de Teoria Quântica, e para explicar fenómenos mais específicos, como o efeito fotoelétrico, o efeito Compton, etc., a Ótica integrou ideias quânticas. É o domínio da Ótica Quântica. Alguns dos cientistas que contribuíram para este capítulo foram Maxwell, Lorentz e Einstein.

A Ótica Quântica inclui a Ótica Física e esta a Ótica Geométrica.

Ibn al-Haitham, conhecido no mundo ocidental como Alhazem (965-1038 D.C) é um dos nomes mais importantes da Ótica clássica. De facto, ele aperfeiçoou a lei da reflexão, estabelecendo relações entre as direções de incidência e de reflexão, mostrou que elas se encontram no mesmo plano normal à interface refletora, estudou espelhos esféricos e parabólicos e fez uma descrição detalhada do olho humano. As suas ideias são válidas ainda hoje.

Sir Isaac Newton (1642-1727 D.C) confirmou a teoria de Alhazem e propôs as bases da teoria corpuscular da luz: uma fonte de luz emite partículas muito pequenas e leves em todas as direções com uma velocidade muito grande. Se essas partículas incidirem sobre o olho, então os humanos

veem os objetos. Para justificar a propagação retilínea da luz Newton argumentou do modo seguinte:

- se as partículas da luz foram muito leves a interação gravitacional é irrelevante e elas movem - se em trajetórias retilíneas a velocidade elevada.

Do trabalho de Alhazem e Newton podemos concluir que a Ótica é a ciência Física relacionada com iluminação e os olhos. A luz vem do objeto aos olhos, por isso podemos ver o objeto na reflexão.

A Luz

Na Wikipédia escreve-se: a luz é uma onda eletromagnética que tem a capacidade de se propagar através do vácuo com a velocidade 299 792 458 metros por segundos, e que pode ser percebida pelo olho humano quando o comprimento de onda está aproximadamente entre os 400 nm e os 700 nm. Os comprimentos de onda inferiores no espectro visível correspondem à luz ultravioleta, e os superiores à luz infravermelha. As cores da luz percebidas são o resultado das respostas fisiológicas dos olhos e do cérebro às diferentes frequências da luz visível.

No livro Óptica de E. Hecht, (cap. 1, pag. 4) escreve-se a propósito da luz no passado: *a luz era assim um feixe de partículas, ou uma ondulação rápida da matéria etérea. Havia, no entanto, acordo geral quando à velocidade de propagação: - seria sempre muito elevada.* De facto, muitos acreditavam que a luz se propagava instantaneamente, noção esta que retrocedia, no mínimo, até Aristóteles.

A Propagação da Luz

No livro Óptica Eugene Hecht, (cap. 4, pag. 86), escreve-se no contexto do eletromagnetismo clássico: *é uma onda que se propaga com uma velocidade que depende das propriedades elétricas e magnéticas do meio que atravessa.*

A propagação da luz obedece a uma série de princípios, descobertos inicialmente de forma empírica, ou seja, através da observação. Na Ótica clássica são:

- Princípio de propagação retilínea da luz;
- Princípio da independência de propagação dos raios luminosos;
- Princípio da reversibilidade do raio luminoso.

Herão de Alexandria (150 A.C e 250 D.C) afirmou que a luz propaga-se sempre no caminho mais curto possível entre dois pontos, através de uma superfície refletora.

Posteriormente, em 1657, Pierre de Fermat com base no seu Princípio do Tempo, a partir do princípio da Herão, afirmou “a trajetória seguida pela luz viajando de um ponto a outro é tal que o tempo de viagem é o mínimo. Isto é, a luz percorre a trajetória mais rápida.” Este princípio aplica-se a toda a Ótica.

No livro Física de Alonso e Finn (cap 35, pag. 762) escreve-se: Chirstian Huygens (1629-1695) propôs um procedimento geométrico para traçar a propagação de ondas elásticas ou mecânica num meio material. *“Uma superfície de onda ou frente de onda é uma superfície composta por todos os pontos do meio que são atingidos pelo movimento ondulatório ao mesmo tempo. Por conseguinte, todos os pontos de uma superfície de onda se deslocam em fase”.*

Velocidade da Luz

Durante séculos pensou-se que a luz tinha velocidade infinita, e poderia propagar-se a qualquer distância, num tempo nulo. A primeira pessoa que tentou medir a velocidade da luz talvez tenha sido Galileu, mas não conseguiu com os meios que de dispunha.

No século XIX, James C. Maxwell (1831-1879) agregou todos os conhecimentos experimentais acumulados sobre os fenómenos elétricos e magnéticos num conjunto único de equações matemáticas. Foi capaz de mostrar teoricamente que o campo eletromagnético se podia propagar como uma onda transversal (no éter) e obteve a sua velocidade de propagação em termos das propriedades elétricas e magnéticas do meio:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1)$$

Onde: ϵ = permissividade elétrica do meio, μ = permeabilidade magnética no meio

No caso do vácuo tem-se:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \quad (2)$$

onde: ϵ_0 = permissividade no vácuo ($8,854187176 \times 10^{-12} \text{ F/m}$), μ_0 = a permeabilidade magnética ($4\pi \times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$)

Com base nestes valores obtém-se o valor da velocidade da luz no vácuo ($c=299\,792\,458 \text{ m/s}$).

Fontes da Luz

Na Ótica distinguem-se dois tipos de fontes de luz: as fontes primárias (incandescentes) e as secundárias (luminescentes). As fontes primárias são fontes que emitem luz própria por exemplo o Sol, a chama de uma vela, etc., e as fontes secundárias são as fontes que não podem emitir luz própria, mas emitem a luz que recebem de fontes primárias por exemplo a Lua, um lápis, uma pessoa, etc.

Segundo o atual modelo de átomo, enquadrado na Mecânica Quântica, a luz emitida surge devido à emissão de fotões por átomos (ou moléculas) na transição de um estado de maior energia para um estado de menor energia.

No estado fundamental do átomo, os eletrões tendem a ocupar os níveis de energia mais baixo (princípio da energia mínima). Quando um átomo, de algum modo, absorve energia, altera a sua configuração eletrónica. Diz-se que fica num estado excitado. Ao fim de algum tempo (normalmente inferior a 10^{-7} s) regressa ao estado fundamental, libertando a energia em excesso através da emissão de radiação. Essa energia (ΔE) está relacionada com a frequência da radiação emitida, através da relação do Planck:

$$\Delta E = h\nu \quad (3)$$

A excitação de átomos ou moléculas pode ser conseguida através de vários processos:

- Fazendo passar uma corrente elétrica, como nos reclusos luminosos, tubos de Plucler, tubos de Geissler, etc.
- Pela ação de fotões, como nas lâmpadas de fluorescência e na fosforescência de muitas substâncias;

- Através de reações químicas, como em certos seres vivos, tais como pirilampos e peixes de profundidade.
- Através da agitação térmica.

II-2 - A Física dos trabalhos de Ótica

As experiências montadas na DFA-UP para ser implementadas em Dili na UNTL foram as seguintes:

- As leis da reflexão e da refração;
- Determinação da distância focal dos espelhos esféricos;
- Um estudo sobre as lentes;
- Um estudo sobre a variação da intensidade luminosa com a distância à fonte;
- Determinação do padrão da difração;
- Um estudo da polarização e verificação da lei de Malus.

No que segue apresentamos algumas bases teóricas dos trabalhos referidos.

II.2.1 - As leis da reflexão e da refração da luz

Quando um feixe de luz incide numa superfície de separação de dois meios transparentes, o feixe é parcialmente refletido e parcialmente refratado. (No caso particular de uns dos meios ser transparente e o outro refletor, o sistema diz-se catóptrico; um exemplo destes sistemas é um espelho). A reflexão ocorre quando a luz que incide numa superfície é reenviada por essa superfície para o mesmo meio. A refração corresponde ao fenómeno de propagação da luz em dois meios com propriedades óticas diferentes.

Na Figura 1 representa-se um raio luminoso \overline{IP} que incide no ponto P. O ângulo ϕ_1 entre o raio incidente e a normal (a linha perpendicular à superfície) é chamado de ângulo de incidência e o plano contendo o raio incidente e a normal é o plano de incidência. O ângulo ϕ_1' entre os raios refletido e a normal à superfície no ponto de incidência é o ângulo de reflexão. O raio correspondente refletido é \overline{PR} . O ângulo ϕ_2 , no segundo meio entre o raio refratado e a normal é chamado de ângulo de refração.

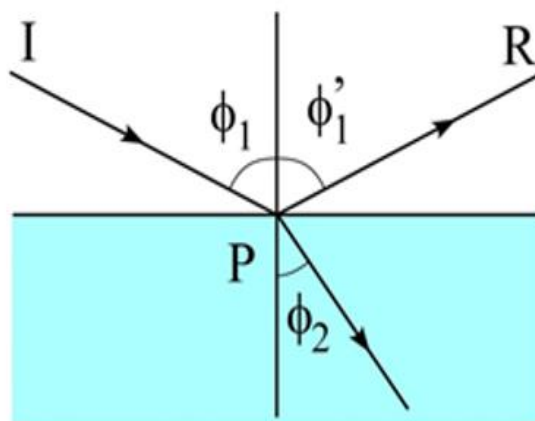


Figura 1 – A propagação da luz que atravessa de 2 meios diferentes

As leis da reflexão são:

1ª lei: o raio incidente, a normal à superfície de separação no ponto de incidência e o raio refletido estão no mesmo plano.

2ª lei: o ângulo de incidência é igual o ângulo de reflexão.

$$\phi_1 = \phi_2 \quad (4)$$

As leis da refração são:

1ª lei: o raio incidente, a normal à superfície no ponto de incidência e o raio refratado, estão no mesmo plano.

2ª lei (Lei de Snell-Descartes): a razão entre o seno do ângulo de incidência, ϕ_1 , e o seno do ângulo de refração, ϕ_2 , é constante e igual a:

$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

onde: n_i é o índice de refração do meio $i=1,2$.

O índice de refração de um meio é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz nesse meio, para uma dada frequência da radiação. O seu valor depende das propriedades óticas do meio. Matematicamente podemos escrever:

$$n = \frac{c}{v} \quad (6)$$

sendo v a velocidade de propagação da luz no meio com índice de refração n .

A equação 5 foi estabelecida experimentalmente pelo cientista holandês Willebrord Snell em 1621 e é conhecida como a **lei de Snell**.

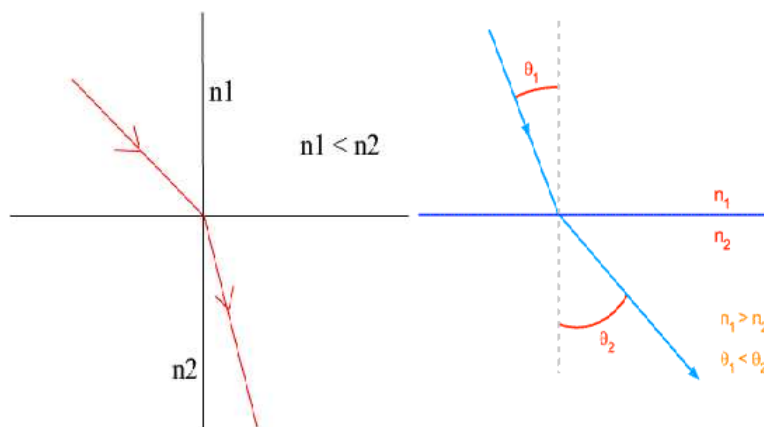


Figura 2 - A propagação da luz atravessa uma superfície entre dois meios diferentes (a) do meio menos refringente para mais refringentes; (b) do meio mais refringente para o meio menos refringente.

Mecanismo físico para a reflexão e refração

O mecanismo da reflexão e da refração da luz pode ser entendido em termos de absorção e irradiação da luz pelos átomos no meio refletor ou onde ocorre a refração. Quando a luz, viaja pelo ar, e incide numa superfície de vidro, os átomos no vidro absorvem e irradiam a luz na mesma

frequência, em todas as direções. As ondas irradiadas pelos átomos do vidro interferem construtivamente num ângulo igual ao ângulo de incidência, de modo a produzir a onda refletida.

A luz transmitida (refratada) é o resultado da interferência da luz incidente e da luz produzida pela absorção e irradiação da energia luminosa pelos átomos do segundo meio. Para a luz que entra no vidro, por exemplo, o a partir do ar ($n_{ar}=1$), existe uma defasagem entre a onda irradiada e a onda incidente. Esta defasagem significa que existe um atraso entre a posição da crista da onda transmitida em relação à posição da crista da onda incidente no meio e como resultado, uma crista da onda transmitida não percorre a mesma distância no mesmo intervalo de tempo do que a crista original da onda incidente; isto é, a velocidade da onda transmitida é menor que a da onda incidente. O índice de refração é neste caso maior do que 1. Se, pelo contrário, a luz passa de um meio com índice de refração superior a 1 para o ar, a velocidade da onda transmitida é maior que a da onda incidente.

Em conclusão:

A frequência da luz no segundo meio é a mesma que a da luz incidente. Os átomos absorvem e irradiam a luz na mesma frequência, mas a velocidade da onda é diferente, logo o comprimento de onda da luz transmitida é diferente da onda incidente.

Quando a luz incide na superfície de separação de outro meio transparente, nem toda a luz passa esse outro meio. Há uma parte que é refletida. É por isso que o feixe de luz refratada é menos intenso do que o incidente.

Reflexão total

A Figura 3 mostra uma fonte puntiforme no vidro e raios incidindo na interface vidro-ar em vários ângulos. Todos os raios não perpendiculares à interface afastam-se da normal. À medida que o ângulo de incidência aumenta, o ângulo de refração aumenta até valor o ângulo crítico, θ_c , seja atingido. Neste caso o ângulo de refração é 90° . Para ângulos de incidência superiores ao ângulo crítico, não há raio refratado. Toda a energia é refletida.

Em conclusão:

A reflexão total ocorre quando a luz incide na superfície de separação entre dois meios, incidindo pelo meio com maior índice de refração ($n_1 > n_2$), segundo um ângulo superior ao ângulo crítico.

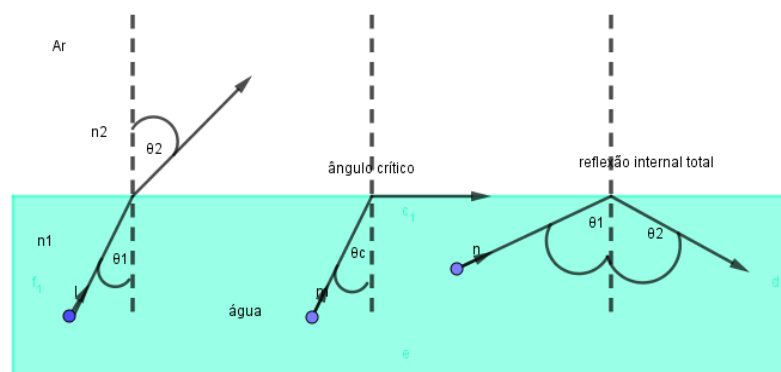


Figura 3- Refração da luz na fronteira entre dois meios

II.2.2 - Estudo de espelhos esféricos

O espelho curvo esférico é um espelho cuja superfície é curva com a forma esférica. Podem ser espelhos côncavos ou espelhos convexos.

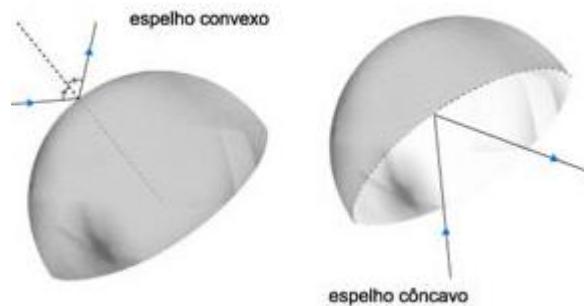


Figura 4 espelhos esféricos

Reflexão num espelho esférico

Para analisar a reflexão da luz numa superfície esférica, devemos estabelecer certas definições e convenções de sinais. O centro de curvatura C é o centro da superfície esférica (ver Figura 5) e o ponto O é o vértice da calota esférica. A linha que passa por O e C designa-se eixo principal. Tomando a origem das coordenadas em O , todas as quantidades medidas para a direita de O são positivas e, para a esquerda são negativas.

Fórmula de Descartes.

Suponhamos que o ponto P da figura 5 é uma fonte de raios. Usando as leis de reflexão o raio incidente PA reflete-se segundo AQ , intersecando o eixo principal no ponto Q . Designando a distância entre o ponto objeto e o espelho, OP , por p e a distância do ponto imagem e o espelho OQ , por q , então, se os ângulos θ_1 e θ_2 forem pequenos (isto é, no caso de raios paraxiais), estas duas quantidades estão relacionadas pela expressão de Descartes para a reflexão numa superfície esférica:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{r} \quad (7)$$

Como nesta expressão não existe qualquer referência ao ponto A , concluímos que, com as aproximações feitas, todos os raios incidentes que passam por P passarão por Q , depois de refletidos na superfície.

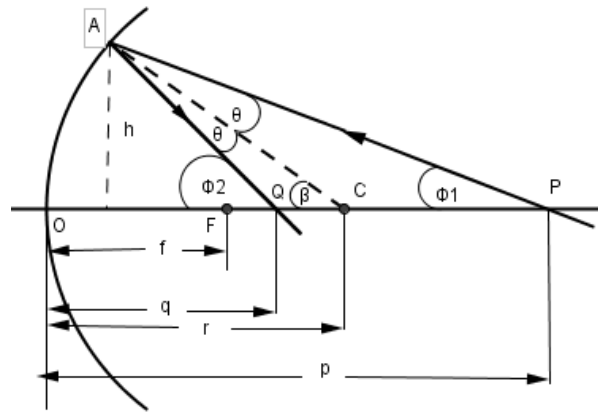


Figura 5 Trajetória de um raio refletido numa superfície esférica

O ponto focal.

No caso de o raio incidente ser paralelo ao eixo principal, o que é equivalente a colocar o objeto a uma distância muito grande do espelho, obtém-se ($p = \infty$). Representando por f a distância da imagem ao espelho, a equação transforma-se em:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{r} \quad \text{ou} \quad f = \frac{r}{2} \quad (8)$$

onde f , é a distância do ponto F (o foco) ao espelho e se diz a distância focal.

A equação (7) pode agora ser escrita como:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (9)$$

De acordo com a convenção de sinais adotada, f é positiva no caso de espelhos côncavos e é negativa no caso de espelhos convexos.

Em resumo:

- os raios incidentes paralelos refletem-se passando por F;
- os raios incidentes que passam por F refletem-se saindo paralelamente ao eixo principal;
- os raios incidentes que passam por C refletem-se passando novamente por C.

Nas Figura 7(a) Figura 7(b) exemplifica-se a construção da imagem de um objeto AB. Na Figura 7(a) a imagem (ab) é real, uma vez que os raios refletidos se cruzam à frente do espelho, e é invertida e menor que o objeto. Na Figura 7(b) a imagem é virtual, porque os raios se cruzam atrás do espelho e é direita e menor que o objeto.

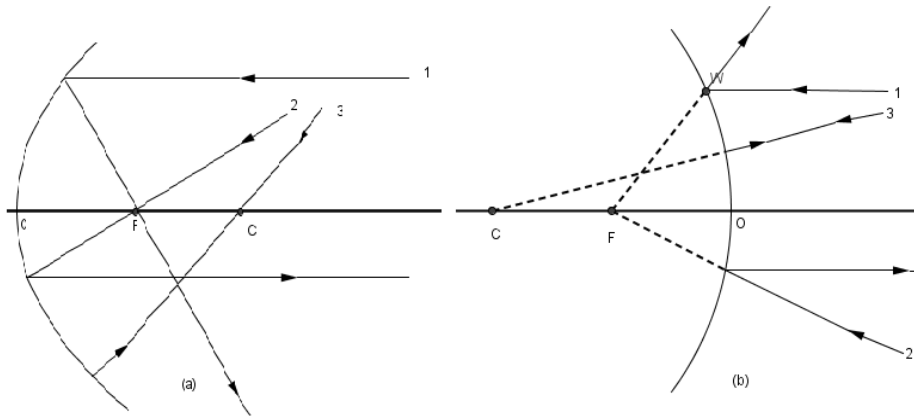


Figura 6 Principais raios em espelhos esféricos. (a) côncavos, (b) convexo

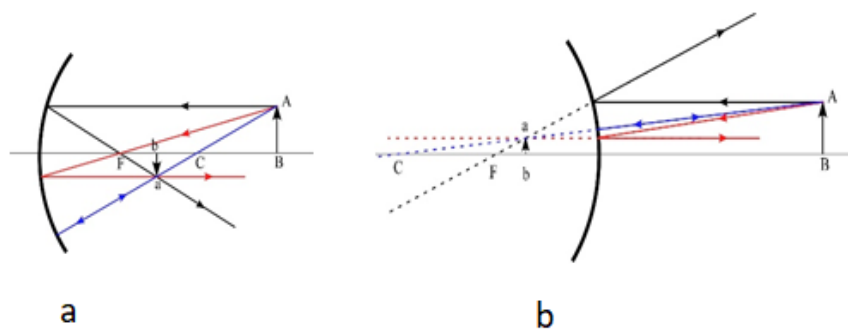


Figura 7 Construção da imagem em espelhos esféricos. (a) Côncavo, (b) convexo

II.2.3 Estudo de lentes

Uma lente é um meio transparente limitado por duas superfícies curvas (em geral esféricas ou cilíndricas), embora uma possa ser plana. Por isso, uma onda incidente sofre mudança de direção ao passar numa lente. Para simplificar, iremos supor que o meio adjacente a ambos os lados da lente é o mesmo e o seu índice de refração é um (índice de refração do ar), enquanto o índice de refração da lente é n .

Refração em superfícies esféricas

A maior parte das lentes que hoje se utilizam têm superfícies esféricas.

Convenções:

- lente convergente (ou lente positiva) é uma lente em que os raios incidentes paralelos se refratam convergindo num ponto e que se chama foco da lente.
- lente divergente (ou lente negativa) é uma lente em que os raios incidentes paralelamente ao eixo da lente são refratados divergindo a partir de um ponto.
- Assumindo que a luz se propaga da esquerda para a direita, considera-se positiva a distância entre o objeto e a lente se este estiver à esquerda da lente.
- Assumindo que a luz se propaga da esquerda para a direita, considera-se positiva a distância entre a lente e a imagem se a imagem estiver à direita da lente.
- Uma imagem diz-se real se puder ser projetada num alvo, i.e., se os raios provenientes do mesmo ponto do objeto se cruzarem depois de atravessar a lente.

- No caso de os raios provenientes do mesmo ponto do objeto não se cruzarem depois da lente, mas pareçam divergir de um ponto atrás da lente, diz-se que a imagem é virtual. Se olharmos através da lente conseguimos ver a imagem do objeto, mas não conseguimos projetá-la num alvo.

A convenção de sinais para lentes ou para uma superfície refletora:

No que segue consideram-se apenas lentes delgadas, isto é, de pequena espessura, constituídas por dois dióptros esféricos.

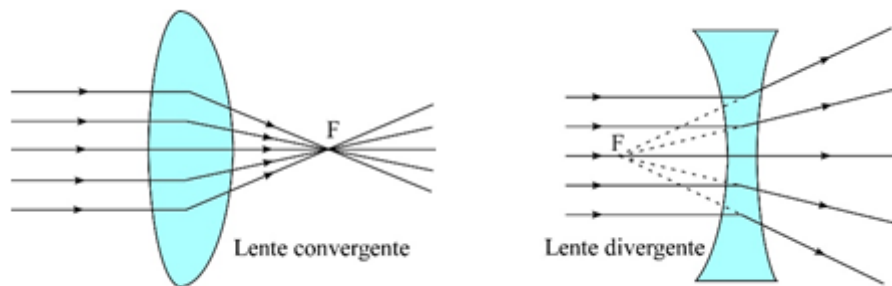


Figura 8 Os raios na lente convergente e divergente

Fórmula de Descartes.

Consideremos que o raio incidente PA passa por P (ver Figura 9). Na primeira superfície, o raio incidente é refratado segundo o raio AB. Se o prolongarmos, este passará por Q' que é, por conseguinte, a imagem de P produzida pela primeira superfície refratora. A distância q' de Q' a O1 obtém-se por aplicação da equação:

$$\frac{1}{p} - \frac{n}{q'} = \frac{1-n}{r_1} \quad (10)$$

onde $n_1=1$ é o índice de refração do ar e n_2 é o índice de refração da lente.

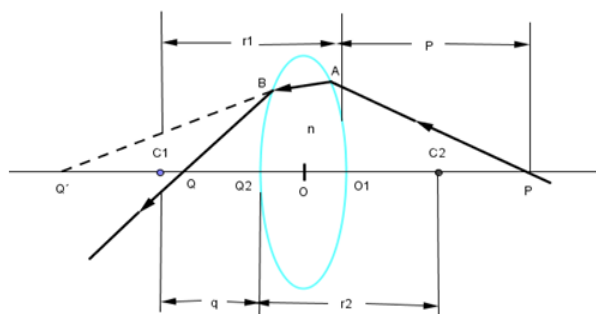


Figura 9 Trajetória de um raio ao atravessar uma lente

Em B, os raios sofrem uma segunda refração obtendo-se o raio BQ. Então Q é a imagem final de P produzida pelo sistema das duas superfícies refratoras que constituem a lente. Considerando a

refração em B, o objeto (virtual) é Q' e a imagem é Q , a uma distância q da lente. Então fazendo, $n_1 = n$ e $n_2 = 1$ e $p = q'$, podemos escrever a equação:

$$\frac{n}{q'} - \frac{1}{q} = \frac{n-1}{r_2} \quad (11)$$

A ordem dos índices de refração foi invertida porque o raio passa da lente para o ar. Combinando as duas equações (10) e (11) obtém-se a **fórmula de Descartes** para uma lente delgada:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = (n-1) \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \quad (12)$$

Nesta equação, q é positivo se a imagem for real, porque está à esquerda da lente, e é negativo se a imagem for virtual.

Pontos focais.

Como no caso de uma só superfície refratora, o **foco objeto** F_o , (ou primeiro ponto focal) de uma lente, é a posição do objeto para o qual os raios emergem paralelamente ao eixo principal ($q = \infty$) depois de terem atravessado a lente. A distância de F_o à lente designa-se por distância focal objeto e representa-se por f . Então fazendo $p=f$ e $q=\infty$ na equação (12), determinamos a distância focal objeto:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \quad (13)$$

Combinando as equações (12) e (13), obtemos:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (14)$$

que é conhecida como a **fórmula de Gauss**.

Analogamente se obtém para um raio incidente paralelo ao eixo principal, $p = \infty$, que o raio emergente passa pelo ponto F_i , com $q = -f$ que se designa por **foco imagem**.

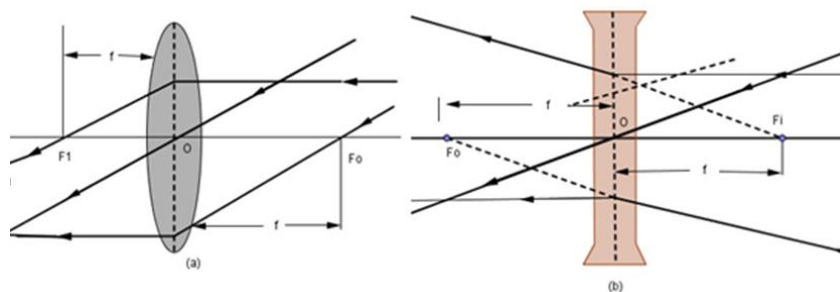


Figura 10 Raios principais (a) convergentes e (b) divergentes

Formação de imagem por uma lente delgada

Consideremos um ponto P situado a uma distância s_o (maior que a distância focal) de uma lente fina convergente, conforme indicado no esquema da Figura 11. A imagem de um ponto é determinada pelo cruzamento de dois raios que, partindo desse ponto, atravessam a lente.

Consideremos os raios designados por a (paralelo ao eixo ótico) e c (que passa pelo foco objeto). O raio a deverá passar pelo foco imagem, o raio c deverá sair paralelo ao eixo ótico. Assim, estes raios cruzam-se no ponto P'. O raio b, que passa pelo centro (O) da lente de pequena espessura, não é desviado.

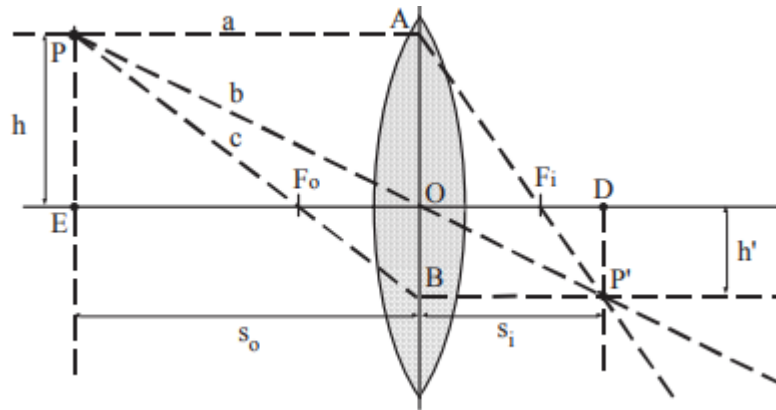


Figura 11 Formação imagem na lente convergente

A razão entre as dimensões transversais da imagem e do objeto é designada por ampliação transversal M_T :

$$M_T = \frac{h_q}{h_p} = -\frac{q}{p} \quad (15)$$

Associação das lentes delgadas

Basicamente duas lentes podem ser associadas obtendo-se uma lente equivalente. Por simplificação vamos apenas considerar lentes finas e justapostas, (a distância entre as lentes é muito mais pequena do que a distância focal das lentes ($L \ll F$)).

Dada uma lente esférica definimos a vergência da lente (V) como o inverso da sua distância focal ou seja:

$$V = \frac{1}{f} \quad (16)$$

(A unidade utilizada para caracterizar a vergência de uma lente é a dioptria (di): $1 \text{ di} = 1 \text{ m}^{-1}$). A vergência da lente equivalente é dada (teorema das vergências) por

$$V_{eq} = V_1 + V_2 \quad (17)$$

ou de um modo equivalente:

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (18)$$

onde, f_{eq} é a distância focal equivalente entre duas lentes; f_1 e f_2 são as distâncias focais das duas lentes.

II.2.4 Lei do inverso do quadrado das distâncias

Johannes Kepler, afirmou que a intensidade da luz da fonte pontual num ponto é inversamente proporcional ao quadrado da distância à fonte.

A intensidade luminosa de uma fonte, I , é a potência, P , emitida por unidade da área perpendicular à direção da propagação da energia e por unidade de ângulo sólido. Assumindo que fonte é isotrópica, a potência por unidade de área (Irradiância) varia inversamente com a distância a fonte, r , já que a área iluminada é proporcional a r^2 . Assim:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (19)$$

No sistema SI, a irradiância é mede-se em W/m^2 .

Este comportamento em $1/r^2$ surge em diversas áreas da física com por exemplo em gravitação, em eletromagnetismo, em acústica etc.

II.2.5 Difração

Quando se coloca um objeto opaco entre uma fonte e um alvo, aparecem no alvo franjas escuras e claras. No século XVII Francesco Grimaldi referiu “esta anomalia” relativa à propagação da luz, e chamou-lhe difração. Estes efeitos, que ocorrem exclusivamente com fenómenos ondulatórios, verificam-se sempre que uma parte de uma frente de onda for de algum modo obstruída; verifica-se com ondas acústicas, luminosas e mesmo com ondas materiais. Ocorre difração sempre que a fase ou amplitude de parte da frente de onda se altera, após interação com obstáculo transparentes ou opacos. Os vários segmentos da frente de onda que se propagam para além do obstáculo interferem, dando a origem a uma distribuição particular de densidade de energia, isto é, dando origem a um padrão de difração.

A difração pode ser encarada como devida à interação de ondas eletromagnéticas com um obstáculo físico qualquer. É conveniente analisar em detalhe o que se passa no interior do objeto opaco. O alvo pode ser considerado como um objeto contínuo sempre que é possível ignorar a sua estrutura microscópica.

Difração de Fraunhofer e difração de Fresnel

Consideramos um objeto opaco **A**, iluminado por um feixe laser, a observação é feita num plano **Q** paralelo a **A** como se mostra na Figura 12. Se **Q** estiver muito próximo do objeto, a imagem deste é projetada no alvo, apesar de notarem franjas próximas das bordas. À medida que se afasta o plano da observação, verifica-se uma estruturação progressiva da imagem que, embora ainda identificável, começa a revelar franjas cada vez mais bem definidas. Este fenómeno é conhecido como difração de Fresnel ou de campo próximo. Afastando o plano de observação ainda mais provoca variações contínuas no padrão de franjas. A grande distância do anteparo já não é possível reconhecer a abertura, o padrão de franjas cobre uma região extensa, e qualquer variação adicional da distância tem como única consequência a variação do tamanho do padrão e não da sua forma. Está-se no regime de difração de Fraunhofer ou de campo longínquo. Neste regime, reduzindo significativamente o comprimento de onda da radiação incidente, obtém-se novamente um padrão de difração de Fresnel. Para comprimentos de onda próximos de zero, as franjas desaparecem e a

imagem observada é a prevista pela Ótica Geométrica, isto é, a projeção da sombra da própria abertura.

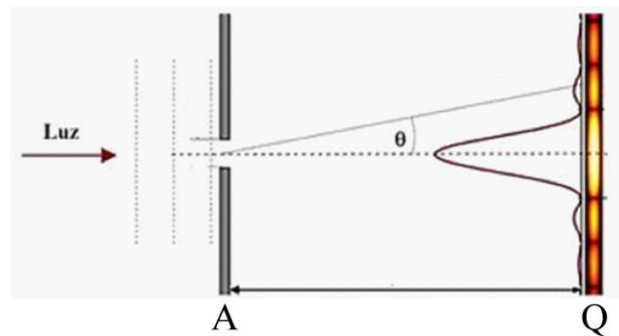


Figura 12 Difração de Fraunhofer

Em Ótica geométrica é sempre assumido que o percurso da luz é retilíneo. Esta afirmação deve ser compreendida apenas como uma aproximação para os casos em que as dimensões dos objetos sejam muito maiores que o comprimento de onda da luz (λ) (entre 10^{-6} m e 10^{-7} m).

Do que se referiu anteriormente, quando um feixe luminoso incide num anteparo com uma fenda de dimensão $d \approx \lambda$ observa-se no alvo as regiões alternadamente escuras e luminosas, correspondentes a regiões onde a intensidade luminosa é menor ou maior, respetivamente.

Na Figura 13 mostra-se um padrão de difração. Na aproximação de $d \ll D$ (D , distância entre o anteparo e o ecrã):

- os pontos onde a intensidade é máxima satisfazem a relação:

$$\sin \theta = \frac{y}{d}$$

Onde y é a ordenada do ponto.

- os pontos onde a intensidade é nula são dados por:

$$\sin \theta = \frac{y}{D}$$

- O máximo principal ocorre para $y = 0$.

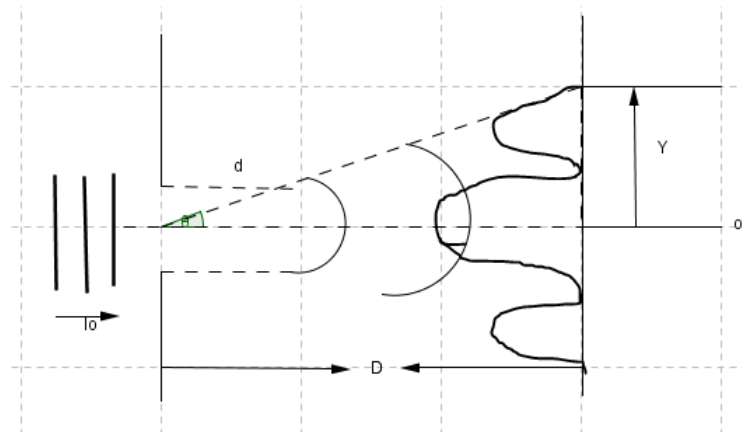


Figura 13 Difração por uma fenda simples (elaborada pelo pesquisador)

Difração de Fraunhofer por um fio fino

Um fio opaco pode considerar-se um obstáculo no trajeto da luz análogo ao de uma fenda num anteparo. O padrão de difração observado nos dois sistemas é idêntico.

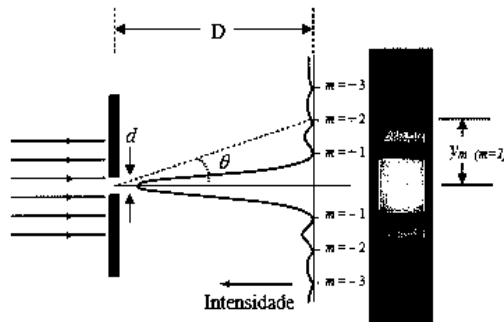


Figura 14 Padrão de difração produzida por uma fenda de abertura d

Assim a determinação do diâmetro de um fio (d) é obtida a partir da relação:

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (20)$$

o valor de "m" correspondente a um mínimo de intensidade no padrão de difração, como indicado na figura 14. No caso particular de $D \gg d$, $\sin \theta_m \approx \tan \theta_m = \frac{Y_m}{L}$, o diâmetro do fio, é dado por:

$$d = \frac{m \lambda}{\sin \theta_m} \quad (21)$$

II.2.6 Polarização e verificação da lei de Malus

Polarização

O campo eletromagnético é uma onda transversal, isto é, é perpendicular à direção de propagação, \vec{u} da onda eletromagnética. Por exemplo, se a onda se propagar segundo O_z , então:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_x(\vec{x}, t)\hat{i} + E_y(\vec{x}, t)\hat{j} \quad (22)$$

onde, com generalidade se tem:

$$E_x(\vec{r}, t) = E_{0x} \cos(K_z z - \omega t) \quad (23a)$$

$$E_y(r, t) = E_{0y} \cos(Kz - \omega t + \varepsilon) \quad (23b)$$

sendo \vec{k} , o vetor de onda $\vec{k} = (k_x, k_y, k_z) = 2\pi/\lambda \hat{u}$, ε é uma diferença de fase.

A polarização de \vec{E} corresponde ao lugar geométrico dos pontos descritos pelo campo elétrico num dado instante. Das equações:

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = \text{constante} \quad (24)$$

ou seja, o estado mais geral de polarização é o de polarização elítica.

Analisemos alguns casos particulares:

(i) se $\varepsilon = 0$;

$$E_y(r, t) = \frac{E_{0y}}{E_{0x}} E_x(\vec{r}, t) = \text{constante} \quad (25)$$

A equação (25) é, neste caso, a de uma linha reta e diz-se por isso que \vec{E} está polarizado linearmente.

(ii) se $\varepsilon = \pm \frac{\pi}{2}$ e $E_{0x} = E_{0y}$;

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = 1 \quad (27)$$

Esta equação é uma equação de uma circunferência. Neste caso, diz-se que \vec{E} está polarizado circularmente. A polarização diz-se circular direita ($\varepsilon = \frac{\pi}{2}$) ou circular esquerda ($\varepsilon = -\frac{\pi}{2}$).

Polarizadores

Um polarizador é um dispositivo ótico que transforma luz natural (que é não polarizada) em luz polarizada.

O dicroísmo consiste na absorção seletiva de um dos dois estados de polarização ortogonais que compõem um feixe de luz polarizada. O polarizador dicroico é fisicamente anisotrópico, absorvendo fortemente uma das componentes do campo, mas sendo essencialmente transparente para a outra.

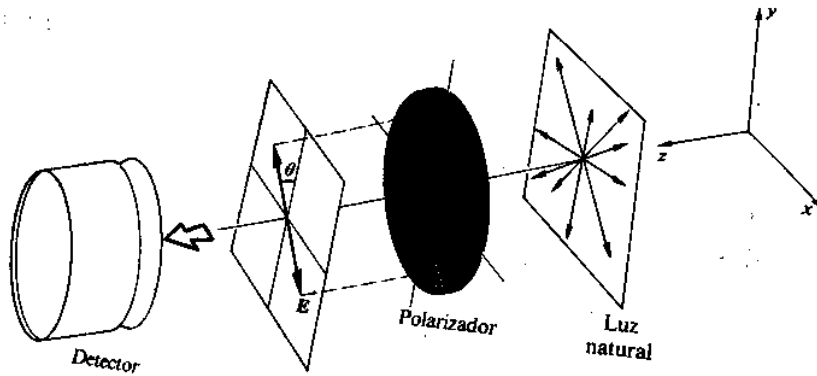


Figura 15 Polarizador linear

Na Figura 15 mostra-se um feixe de luz natural incidente num polarizador linear ideal. Matematicamente a luz natural pode ser representada como a superposição de duas ondas ortogonais linearmente polarizadas de igual amplitude e incoerentes entre si. Se se rodar o polarizador em torno do eixo Oz, a radiação detetada não variará, em consequência da simetria da luz não polarizada. Se, pelo contrário, se usar uma fonte de luz polarizada segundo Oz e se rodar do polarizador em torno de O_y ou O_x , tal irá provocar uma variação da intensidade detetada. Para radiação monocromática pode definir-se a percentagem de polarização da radiação por:

$$\% \text{ Polarização} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100 \quad (28)$$

onde I_{\max} e I_{\min} são os valores máximos e mínimo das intensidades da radiação detetadas.

Lei de Malus

A intensidade do campo elétrico é proporcional ao quadrado da intensidade de \vec{E} , isto é:

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon v |\vec{E}|^2 \quad (29)$$

No caso particular do vazio, a equação (29) escreve-se:

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c |\vec{E}|^2 = \frac{1}{2} \frac{c}{\mu_0} |\vec{E}|^2 \quad (30)$$

onde se usou $\varepsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$.

Suponhamos que um feixe com intensidade I_0 , com polarização linear fazendo um ângulo θ com O_y , por exemplo, incide num polarizador cujo eixo da transmissão está segundo O_y (ver Figura 16). Se antes do polarizador, a amplitude do campo elétrico do feixe for E_0 então após polarizador a amplitude será $E_0 \cos \theta$. Como a intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude do campo elétrico, obtemos a lei de Malus:

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (31)$$

A intensidade é máxima quando o ângulo θ entre os eixos de transmissão do analisador e do polarizador é nulo, ou 180° .

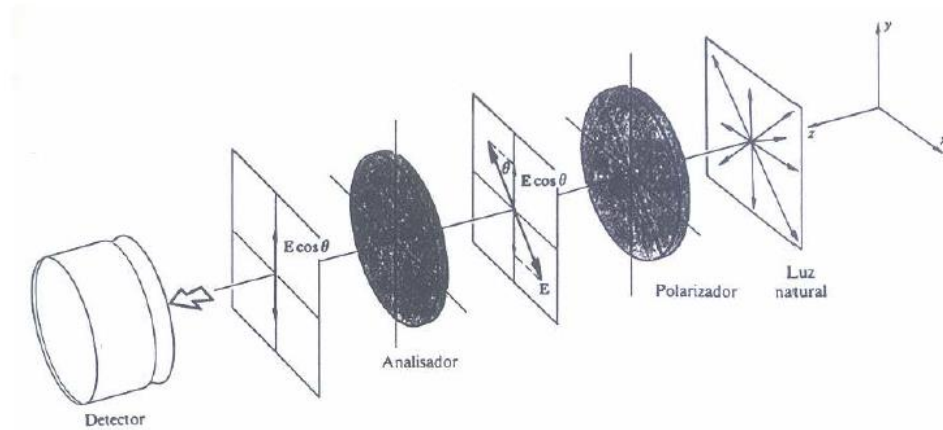


Figura 16 Polarizador e analisador lineares- lei de Malus.

Capítulo III - Trabalho no DFA-FCUP

III.1 - Relevância da prática laboratorial no ensino da Ótica

As atividades laboratoriais têm um papel importante para o sucesso no ensino das ciências naturais (Física, Química e Biologia). Como referiu Hodson (citado por Leite, 2000), *as atividades laboratoriais têm a potencialidade de permitir atingir objetivos relacionados com:*

- *A motivação dos alunos;*
- *A aprendizagem de conhecimento conceptual, ou seja, conceitos, princípios, leis, teorias;*
- *A aprendizagem de competências e técnicas laboratoriais, aspetos fundamentais do conhecimento procedimental;*
- *A aprendizagem de metodologia científica, nomeadamente no que se à aprendizagem dos processos de resolução de problemas no laboratório, os quais envolvem, não só conhecimentos conceptuais, mas também conhecimentos procedimentais;*

Desenvolvimento de atitudes científicas, as quais incluem, rigor, persistência, raciocínio crítico, pensamento divergente, criatividade, etc. (p.2)

Escreveu Tobin (1990) que as atividades laboratoriais são uma forma de permitir aos estudantes aprender com compreensão e, ao mesmo tempo, realizar um processo de construção de conhecimento para fazer ciência. Mas a pesquisa atual sugere também que ajudar os alunos a alcançar os resultados desejados da aprendizagem é um processo muito complexo (Hofstein & Lunetta 2004).

Já Gunstone (1991) diz que utilizar o trabalho no laboratório para os estudantes reestruturarem o seu conhecimento pode parecer razoável, mas que essa ideia é também ingénua já que o desenvolvimento das ideias científicas a partir de experiências práticas é um processo muito complexo.

As atividades laboratoriais (AL) podem facilitar o reforço dos conceitos apresentados anteriormente, o que promove o desenvolvimento de novo conhecimento conceptual do estudante, ou podem facilitar a reconstrução das conceções alternativas dos estudantes (Silva & Leite, 1997).

Por atividade laboratorial entende-se aqui a execução de experiências.

Ao realizarmos TL temos a possibilidade de atingir em simultâneos diversos objetivos. Quando numa situação de ensino – aprendizagem decidimos realizar um TL temos, normalmente um objetivo primordial em mente. Sendo assim, a estrutura do TL escolhida terá que estar adequada a esse objetivo.

Kerr (1963) (citado por Silva, 2006), uma das principais referências neste domínio, sugeriu dez objetivos para caracterizar o TL, aos quais atribuiu um significado (Tabela 1).

Os quatros primeiros itens referem-se principalmente aos efeitos do TL no pensamento e no conhecimento; os itens 9 e 10 correspondem a possíveis efeitos na atitude geral dos estudantes perante a Ciência através do incremento do desejo de aprender e do nível de compreensão. Os restantes itens, 5 a 8, estão mais diretamente relacionados com avaliação do conhecimento.

Tabela 1 Objetivos do TL sugeridos por Kerr (1963), citado por Silva, 2006.

| Objetivos do TL | Significado atribuído por Kerr |
|--|--|
| Estimular a observação precisa e o registo cuidado. | A habilidade de observar com intenção corresponde a um aspeto essencial nos procedimentos científicos. O TL pode melhorar esta capacidade de observação que ultrapassa o simples ato de olhar e ver. O registo de resultados, a tomada de notas quando necessário e o desenho de espécimes atuais está necessariamente associada a uma observação precisa. A cópia laboriosa de notas ou extratos não é a mesma coisa que registar. |
| Promover competências associadas ao pensamento científico. | O TL pode propiciar oportunidades para pensarmos de modo particular. Existem poucas evidências de que este tipo de pensamento ou procedimento corresponda a uma série de etapas estabelecidas pelo designado método científico. Tal como sucede com a observação (objetivo anterior), depende da interpretação pessoal e modifica-se quando surgem novas evidências. |
| Desenvolver competências manipulativas. | O TL pode permitir o treino de competências comuns com significados no dia a dia ou pode propiciar o desenvolvimento de competências necessárias ao desenho e execução de uma montagem laboratorial. |
| Desenvolver competência de resolução de problema. | O TL pode ser utilizado como um meio de descoberta ou resolução de problemas em vez da mera verificação de factos estabelecidos previamente. Se os problemas correspondem a problemas do dia a dia, os alunos desejavam provavelmente resolvê-los. Quando um aluno aprende através da resolução de problemas está a atuar de uma maneira científica. É solicitado que ele reconheça situações problema, levante questões pertinentes/com os significados, efetue observações adequadas, seja objetivo e recetivo o novo facto, elabore conclusões de modo cuidadoso. |
| Preparar para os exames práticos. | O TL pode ser realizado apenas com a intenção de preparar os alunos para os exames práticos. O seu valor educativo depende assim da natureza dos testes práticos realizados. |

| | |
|---|---|
| Ilustrar a teoria e facilitar da compreensão da mesma. | O TL pode ajudar a ensinar e a tornar a teoria mais clara. Corresponde à expressão muito divulgada do “aprender fazendo”. Contudo, nem todos os tipos de TL possuem igual valor, pelo que contributo não será o mesmo. |
| Verificar factos e princípios já ensinados. | O TL pode ser utilizado para verificar se determinadas afirmações estão corretas, através de realização de atividades que “mostram” ou “confirmam”. |
| Descobrir factos e princípios através da investigação. | O TL pode ajudar os alunos na descoberta de factos e princípios por eles próprios. Este processo de “procurar saber” através de investigação é fundamental na adoção de uma atitude científica. |
| 9.Suscitar e manter o interesse nos assuntos. | As aprendizagens ocorrem melhor, se o interesse dos alunos é incrementado. O TL pode promover a aprendizagem através da abordagem de temas do interesse dos alunos. |
| 10.Tornar os fenómenos biológicos, químicos e físicos mais reais através da realização de experiências. | O TL pode melhorar a apreciação dos fenómenos básicos, proporcionando a oportunidade de contacto com equipamento e processos atuais. A realidade da experiência com temas atuais influencia muito o nível de compreensão. |

De outra forma, Hofstein & Lunetta (1982) (citado por Silva, 2006), apresentaram os objetivos do TL agrupados em três domínios: cognitivos, práticos e afetivos (Tabela 2).

Tabela 2 Objetivos do TL sugeridos por Hofstein & Lunetta (1982). Adotado de (Silva 2006).

| Domínio | Objetivo do TL |
|-----------|---|
| Cognitivo | Promover o desenvolvimento intelectual e a aprendizagem de conceitos; Desenvolver competências de resolução de problemas e execução de investigações científicas; Aumentar a compreensão da ciência e do método científico. |
| Prático | Desenvolver competências nas realizações de investigações científicas, na análise de dados, na comunicação e no trabalho com os outros. |
| Afetivo | Desenvolver atitudes favoráveis à Ciência. |

“O TL pode excitar, motivar, ilustrar e clarificar. Mas por outro lado, pode também confundir, desligar, complicar e desmotivar. Para que isso não aconteça os professores necessitam de uma grande clareza acerca das práticas a seguir, quando e porquê (Wellington, 2000).

As atividades laboratoriais devem, portanto, ser cuidadosamente selecionadas e planificadas de acordo com os objetivos específicos que se pretende desenvolver. O professor antes de planificar uma atividade necessita de definir o objetivo específico e quais os resultados da aprendizagem que espera conseguir (Wellington, 1998. Citado por Silva (2006)).

Em resumo: deve haver todo um trabalho prévio dos professores, com a correta seriação das experiências e dos materiais e a elaboração de protocolos experimentais.

Além dos aspetos atrás enunciados, para nós, o trabalho laboratorial, sendo um trabalho realizado em grupo, pode também desenvolver a solidariedade entre os estudantes, especialmente se os grupos forem criados de modo que um grupo envolva estudantes com diferentes níveis de desenvolvimento científico.

III.2 Organização do laboratório e trabalho no DEF-FEAH

Para melhorar o ensino de Física, além do ensino teórico são necessárias estruturas laboratoriais. A UNTL dispõe apenas de um laboratório com área (10x10) m² (ver a Figura 17).



Figura 17 Imagem laboratório DEF-FEAH

O material de Ótica existente é muito limitado inclui apenas:

- banco ótico (1);
- espelhos esféricos (côncavos e convexos);
- lentes (convergentes e divergentes);
- aquário (1);
- prismas óticos.

As experiências preparadas no Departamento de Física e Astronomia da Universidade do Porto (DFA-UP) foram:

- as leis da reflexão e da refração;
- determinação da distância focal dos espelhos esféricos;
- um estudo sobre as lentes;
- um estudo sobre a variação de intensidade luminosa com a distância à fonte;

- determinação do padrão de difração;
- um estudo de polarização e verificação da lei de Malus (esta atividade não foi realizada com os alunos).

Para a realização estas experiências foram utilizadas / adaptados o seguinte material no DFA - UP:

- 3 candeeiros para experiências;
- 1 conjunto de lentes;
- vários conjuntos de espelhos;
- 1 conjunto de díodos laser vermelhos;
- 1 conjunto de LEDs;
- 1 conjunto de polarizadores plásticos;
- 1 conjunto de fusíveis;
- 1 conjunto de resistências;
- 1 conjunto de fios de ligação;
- várias caixas para colocação de pilhas (AA, AAA, 9V);

e foram adquiridos (comprados com dinheiro da bolsa estudo do Instituto Camões)

- 4 multímetros de baixo custo Tenma 72-7770A.

A maior parte do equipamento utilizado por nós foi de baixo custo, de fácil construção e de fácil replicação.

É nosso objetivo continuar a melhorar os laboratórios da UNTL, montando novos trabalhos simples e talvez adquirindo algum material mais avançado.

III.3 Elaboração dos protocolos e aferição de conhecimentos

Os protocolos têm todos a mesma estrutura, o que facilitar trabalhos dos docentes e alunos. Em específico, um protocolo deve incluir:

1. *O título* – em que se indica o assunto abordado.
2. *o objetivo* - indica a extensão e a profundidade com a qual o assunto será tratado e visa a auxiliar o professor na escolha da atividade.
3. *Montagem experimental* - indica qual equipamento necessário para a realização da experiência.
4. *Fundamentos teóricos* - inclui a teoria relevante para a experiência em causa.
5. *Referências*: inclui uma lista de livros, apontamentos, artigos, etc. que foram utilizados na sua elaboração

Os protocolos desenvolvidos estão apresentados no anexo 1.

Para orientação, incluímos no anexo 2, os resultados obtidos em todas as experiências, realizadas no DFA- FCUP.

A fim de aferir os resultados da execução de trabalhos pelos alunos, foram elaborados questionários que podem ser consultados no anexo 3.

Capítulo IV – Resultados do trabalho laboratorial executado na UNTL

Nota introdutória:

Nesta parte do trabalho vão apresentar-se os resultados do trabalho laboratorial executado em UNTL, com estudantes da própria universidade, nos meses de fevereiro, março e abril. No ponto primeiro (4.1) escrevemos sobre a amostra do estudo e o calendário da realização os trabalhos; no ponto (4.2) descrevemos a realização do TL no laboratório; em ponto final (4.3) descrevemos os instrumentos de análise.

IV.1 A amostra do estudo e o calendário da realização os trabalhos laboratoriais no DEF – FEAH

IV.1.1 A amostra do estudo

Para alcançar os objetivos desta investigação, trabalhamos com os alunos de departamento do ensino da Física, no semestre III na UNTL. As aulas laboratoriais envolveram 25 alunos.

IV.1.2 O calendário da realização os trabalhos laboratoriais

Este estudo foi realizado na UNTL em 3 fases descritos na Tabela 1.

Tabela 3 Calendário da realização na UNTL

| Fase | Atividades | Data |
|------|---|---|
| I | Fazer a montagem dos equipamentos no laboratório | 2ª semana de fevereiro |
| II | Fazer as experiências (autor) | 4ª semana de fevereiro |
| III | Implementação as atividades laboratoriais com os alunos | no mês do março e até à 3ª semana de abril. |

- Na fase I, o autor montou o equipamento preparado no DFA-FCUP, no laboratório de DEF–FEAH.
- Na fase II, o autor realizou as experiências para aferir do bom funcionamento das mesmas.
- Na fase III, foram implementadas as atividades laboratoriais com os alunos. Nesta fase, realizamos o 5 trabalho experimental, usando o sistema de aulas usado na UNTL.

Baseando o currículo ECTS implementada na UNTL, a seguir a carga de trabalho de cada unidade curricular modelo ECTS são:

- 1 hora de contacto = 50 minutos
- 1 ECTS = 27 horas de trabalho
- 1 Semestre = 30 ECTS, 1 semestre = 810 horas de trabalho

A disciplina de ÓTICA correspondente a 5 ECTS e total de horas de aula prevista 8h00 por semana divididos como se segue:

- aulas teóricas – 3h00
- aulas praticas – 2h00
- estudo autónomo – 3h00

Na UNTL a ÓTICA é ensinada aos alunos do 2º ano/3º semestre (os alunos que já terminaram o estudo no ensino secundário). No plano curricular atual estão-lhe atribuídos 5 ECTS.

Os capítulos da ÓTICA lecionados são:

- Natureza da luz
- Ótica geométrica
- Interferência
- Difração
- Polarização

IV.2 Realização e utilização dos materiais nas atividades laboratoriais

Em cada atividade laboratorial participavam 25 alunos, divididos por cinco grupos. Cada grupo realizou todos os trabalhos experimentais.

Nos parágrafos seguintes caracterizamos os objetivos específicos de cada trabalho.

Trabalho laboratorial 1 - As Leis da Reflexão e da Refração da Luz

Objetivos:

- Verificar as leis da reflexão e da refração.
- Determinar o índice de refração do acrílico.
- Determinar o ângulo crítico a partir do qual ocorre reflexão total no acrílico.

Trabalho laboratorial 2 - Um estudo sobre espelhos esféricos

Objetivos:

- determinar a distância focal de um espelho esférico.
- caracterizar as imagens dadas pelos espelhos esféricos

Trabalho laboratorial 3 - estudo das lentes

Objetivos:

- Determinar distância focal de uma lente convergente, pelo método dos focos conjugados.
- Caracterizar a imagem formada pela lente.
- Determinar a distância focal de uma associação de lentes delgadas.

Trabalho laboratorial 4 - Variação de intensidade luminosa com a distância à fonte

Objetivo:

Verificar que a intensidade da luz de uma fonte pontual, num ponto, varia inversamente com o quadrado da distância entre fonte e o ponto.

Trabalho 5 - Difração

Objetivos:

- Estudo da difração.
- Determinar a espessura de um cabelo, usando a técnica de difração.

Nas implementações, destas atividades mostraram os estudantes conseguiram preparar e instalar os equipamentos da experiência baseando-se nas instruções do protocolo que indica na figura seguir (ver figura 18).

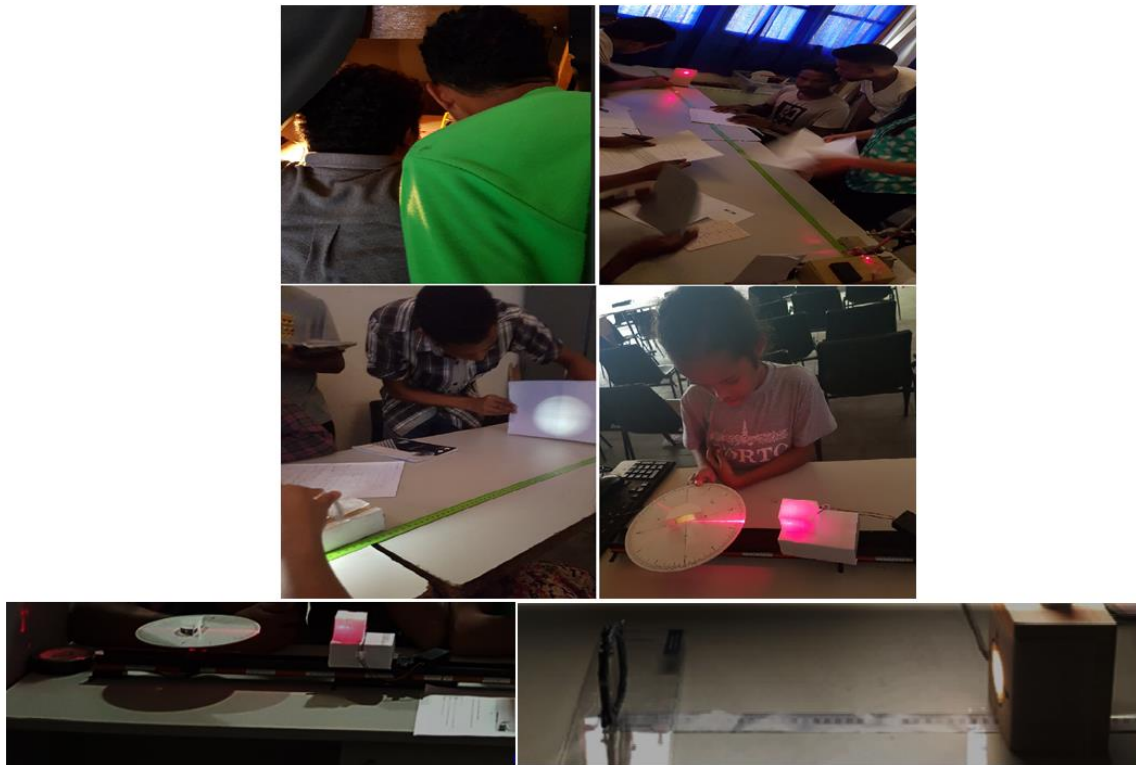


Figura 18 Realização e montagem dos equipamentos nas atividades laboratoriais

Relacionada ao utilização e instalações dos materiais laboratoriais em cima observando-se os estudantes tem vontade e os conhecimentos sobre técnicas e *skills* laboratoriais de utilização e instalações de materiais prática nas atividades laboratoriais.

IV.3 Instrumentos de análise

Neste subcapítulo são descritos os instrumentos de análise dos trabalhos realizados.

IV.3.1 Protocolo

Como já foi referido, o autor (no DFA-UP) preparou um protocolo para cada experiência. No guião eram dados a conhecer os objetivos, o material e os procedimentos a usar.

IV.3.2 Questionário

Os questionários de opinião apresentam-se como um dos instrumentos de avaliação englobados na recolha de informação por inquérito (Leite, 2000) citado por (Moreira, 2014) e permitem incluir a análise que os alunos fazem do trabalho que foi desenvolvido por eles próprios. Apresentam grandes vantagens como a fácil recolha, sistematização e análise em cada uma das etapas do trabalho.

O autor preparou (no DFA-UP) um questionário para cada trabalho experimental.

IV.3.3 Análise dos Questionários

Os questionários incluem:

- questões gerais (como por exemplo, se o tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?).
- questões específicas.

No estudo usaram-se 29 perguntas, sendo 5 relativas ao trabalho 1 (T1), 6 relativas ao trabalho 2 (T2), 9 relativas ao trabalho 3 (T3), 4 relativas ao trabalho 4 (T4) e 5 relativas ao trabalho 5 (T5).

Para todos os questionários houve 25 alunos a responder.

As questões gerais

As questões gerais sobre o tempo da realização para todos TL, como mostra a seguinte: “O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?” (Esta questão tem diferentes numerações nos diferentes trabalhos.)

Relacionada com o tempo de realização das TL por cada atividade os estudantes responderem com a opção “**Suficiente**” acima de 60%, como se mostra na Tabela 4. Isto significa, o tempo da realização das AL, correspondentes à carga horária da sua unidade curricular e também condicionada pela situação dos estudantes, era adequado. Por outro lado, ~ 25% de estudantes escolheram a opção “**Demasiado**”, mas eles não justificaram. Ou seja, mais de 60% dos alunos consideraram que o tempo previsto para a realização do TL era suficiente em todas as atividades.

Tabela 4 Respostas sobre o tempo da realização do TL

| | Resposta | Experiência / nº do Questionário | | | | |
|---|------------|----------------------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|
| | | Lei Snell | Espelhos Esféricos | Lentes | Lei 1/r2 | difração |
| | | T1 (quest. 9) | T2 (quest. 11) | T3 (quest. 17) | T4 (quest. 7) | T5 (quest. 8) |
| % | Não | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Suficiente | 76 | 72 | 64 | 64 | 64 |
| | Demasiado | 24 | 28 | 36 | 36 | 36 |

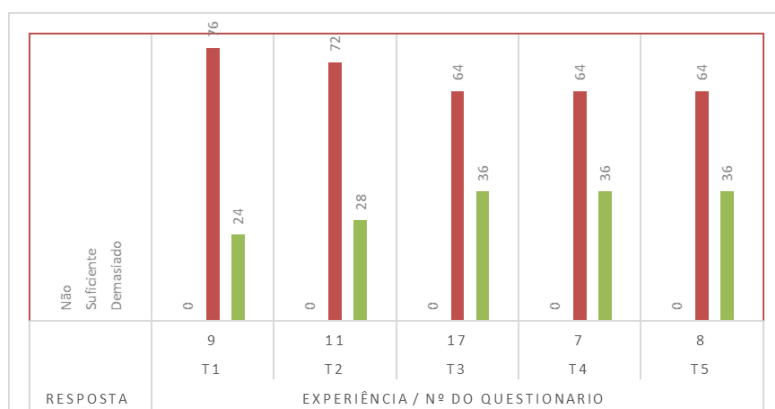


Figura 18 Gráfico com a representação da percentagem de respostas à questão geral 1.

Para inferir sobre a dificuldade de realizar a montagem perguntava-se: “conseguiu realizar a montagem do trabalho?” (Esta questão tem diferentes numerações nos diferentes trabalhos.)

Tabela 5 Questão sobre montagem dos equipamentos no TL

| | Resposta | Experiência / nº do Questionário | | |
|---|-----------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| | | Espelhos Esféricos | Lentes | difração |
| | | T2 (quest. 5) | T3 (quest. 15) | T5 (quest. 5) |
| % | Não | 0 | 0 | 0 |
| | Com dificuldade | 8 | 8 | 12 |
| | Sim | 92 | 92 | 88 |

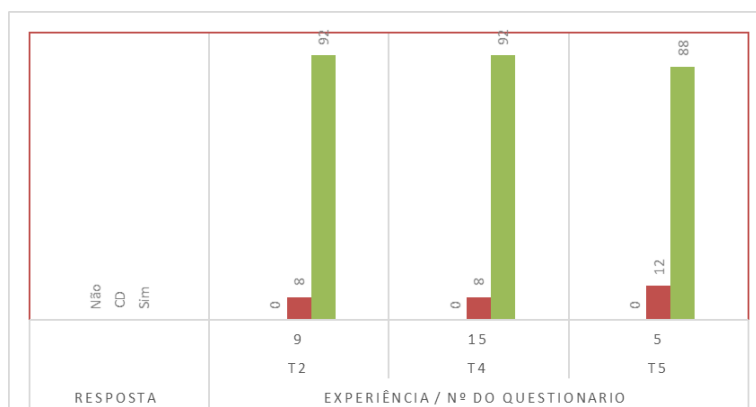


Figura 19 Gráfico com a representação da percentagem de respostas à questão geral 2.

92% os estudantes responderam afirmativamente, exceto no trabalho 5 (T5) em que só 88% responde “**sim**”.

No entanto os que respondem com opção “**Com dificuldade**” afirmam porque não têm bom conhecimento sobre os equipamentos da prática e nunca fizeram esta atividade.

Os resultados globais mostram que as experiências projetadas são adequadas ao nível de conhecimento prático dos alunos a que se destinam.

O questionário incluía ainda a seguinte questão “As instruções fornecidas foram úteis? E suficiente?” (Esta questão tem diferentes numerações nos diferentes trabalhos.)

Tabela 6 utilização as instruções fornecidas no TL

| | Resposta | Experiência / nº do Questionário | | | | |
|---|------------|----------------------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------|
| | | Lei Snell | Espelhos Esféricos | Lentes | Lei $1/r^2$ | Difração |
| | | T1 (quest.7) | T2 (quest.9) | T3 (quest.15) | T3 (quest.5) | T5 (quest.7) |
| % | Não | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pouco | 12 | 8 | 0 | 24 | 32 |
| | Suficiente | 36 | 40 | 44 | 0 | 0 |
| | Muito/sim | 52 | 52 | 56 | 76 | 68 |

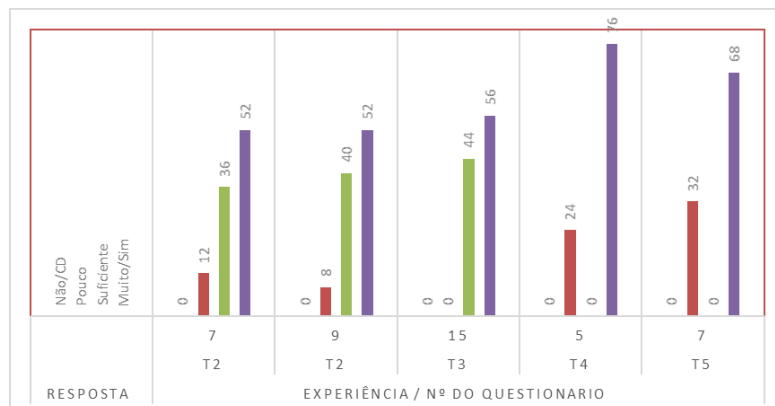


Figura 20 Gráfico com a representação da percentagem de respostas à questão geral 3.

Da análise da Tabela 6 verifica-se que em todos os TL, o maior número da resposta incide na opção “**Sim**”, ou seja, as instruções fornecidas foram úteis. A opção “**Suficiente**”, recebeu também um número significativo de respostas, parecendo indicar que há um trabalho de melhoria da linguagem a fazer.

As questões específicas

A fim de analisar se o TL contribui para uma melhor compreensão dos fenómenos, os questionários incluíam questões específicas como:

| | | |
|----|----|--|
| T1 | 1 | A experiência ajudou-o(a) a compreender o que são os fenómenos de reflexão e da refração? |
| T2 | 1 | A experiência ajudou-o(a) a compreender o que é uma imagem real e uma imagem virtual? |
| T3 | 1 | A experiência ajudou-o(a) a compreender o que é uma imagem real e uma imagem virtual? |
| T4 | 1 | A experiência ajudou-o(a) a compreender como a intensidade luminosa de uma fonte pontual variar com a distância? |
| T5 | 1 | A experiência ajudou-o(a) a compreender o conceito da difração? |
| T1 | 3 | Conseguiu identificar os raios incidente, refletido e transmitido? |
| T2 | 3 | A experiência ajudou-o(a) a compreender a construção da imagem? |
| T3 | 3 | A experiência ajudou-o(a) a compreender a construção da imagem? |
| T3 | 11 | Conseguiu caracterizar a imagem do objeto na lente?" |

Tabela 7 Respostas sobre a compreensão e o conhecimento dos estudantes

| Resposta | | Experiência / nº do Questionário | | | | | | | | |
|----------|---------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | Lei Snell | | Espelhos Esféricos | | Lentes | | | Lei $1/r^2$ | Difração |
| | | T1 (quest.1) | T1 (quest.3) | T2 (quest.1) | T2 (quest.3) | T3 (quest.1) | T3 (quest.3) | T3 (quest.11) | T4 (quest.1) | T5 (quest.1) |
| % | Não/com dificuldade | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pouco | 4 | 0 | 12 | 16 | 12 | 8 | 0 | 8 | 32 |
| | Suficiente | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | muito/sim | 72 | 100 | 88 | 84 | 88 | 92 | 100 | 92 | 68 |

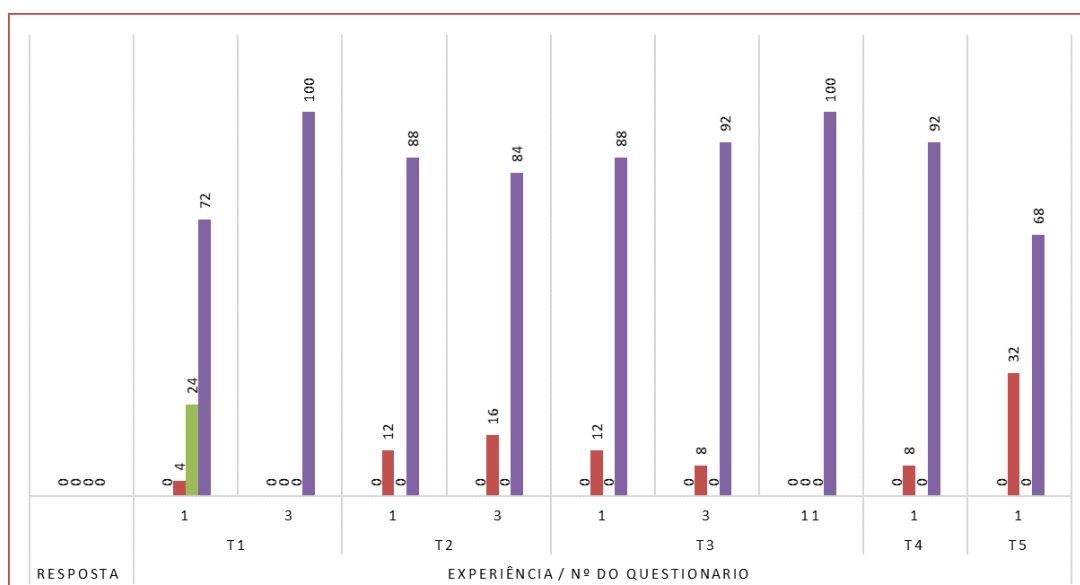


Figura 21 Gráfico com a representação da percentagem de respostas às questões específicas (1) T1 ao T5

As respostas mostram claramente que a execução do trabalho no laboratório, com o manuseamento de materiais, a exploração de situações (distâncias, ângulos, etc.) contribui de modo muito significativo para a compreensão dos termos usados e dos fenómenos em estudo.

As respostas revelam ainda a habitual maior dificuldade na compreensão de certos temas, como a difração.

T1 5 Conseguiu determinar o índice de refração do vidro?

T2 2 Conseguiu fazer o gráfico $1/q$ em função de $1/p$ e a partir do gráfico determinar f .

T3 7 Conseguiu fazer o gráfico $1/q$ em função de $1/p$.

T3 9 Conseguiu determinar a distância focal da lente através da análise do gráfico obtido, o qual deve correspondente a uma linha reta?

T3 13 Conseguiu determinar a distância focal de uma associação de lentes delgadas?

T4 3 Conseguiu fazer o gráfico de irradiância (Intensidade luminosa) em função do inverso do quadrado da distância?

T5 3 Percebeu como se faz a determinação do diâmetro de cabelo?

No quadro 8 analisam-se as respostas às questões acima.

Tabela 8 Respostas sobre a compreensão e o conhecimento dos estudantes

| Resposta | Experiência / nº do Questionário | | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | Lei Snell | Espelhos Esféricos | Lentes | | | Lei $1/r^2$ | Difração |
| | T1 (quest.5) | T2 (quest.2) | T3 (quest.7) | T3 (quest.9) | T3 (quest.13) | T4 (quest.3) | T5 (quest.3) |
| Não/com dificuldade | 0 | 20 | 12 | 8 | 0 | 24 | 0 |
| Pouco | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Suficiente | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Muito/sim | 100 | 80 | 88 | 92 | 100 | 76 | 100 |

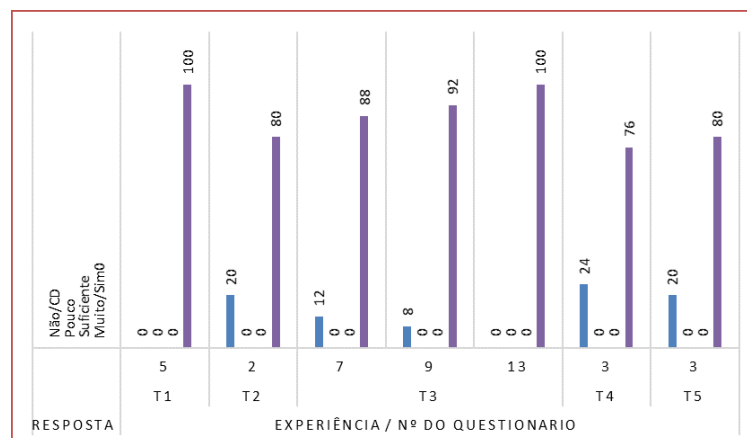


Figura 22 Gráfico com a representação da percentagem de respostas às questões específicas 2 do T1 ao T5

As respostas permitem uma conclusão – a maioria dos estudantes conseguiu usar devidamente os valores experimentais para determinar, quer através de cálculo numérico ou de análise gráfica, os parâmetros pedidos. Este resultado não era, para nós, de todo expectável, já que era a primeira vez que os alunos tinham contacto com o laboratório.

No anexo 4 apresentam-se, como exemplo, os resultados experimentais obtidos por um dos grupos no laboratório de DEF-UNTL.

Capítulo V – Notas finais

Nota introdutória: Neste capítulo são expostas as conclusões do trabalho desenvolvido no decorrer desta investigação. Além disso, apresentam-se algumas implicações do trabalho desenvolvido para prática laboratorial de Ótica na UNTL. Finalmente fazem-se também algumas recomendações para investigações futuras, de modo a que este projeto possa ser complementado com a criação de laboratórios noutras áreas da Física.

V.1 Principais conclusões do estudo

Partimos de três questões no início deste trabalho:

1. Qual é a relação entre o envolvimento dos alunos no trabalho laboratorial e o seu sucesso na aprendizagem da Ótica?
2. Será que o TL é uma boa estratégia para melhoria da aprendizagem do conceito no domínio Ótica?
3. Será que o trabalho laboratorial pode atingir os seus objetivos, utilizando materiais simples e/ou de baixo custo?

Para obter respostas a estas questões, selecionou-se um conjunto de alunos, realizou diversos trabalhos laboratoriais apoiado em protocolos específicos elaborados pela autora e, analisar os questionários de opinião os envolvidos responderam no final das atividades.

A análise das respostas aos questionários permite concluir que o trabalho laboratorial desempenha um papel muito relevante na compreensão do assunto teórico e é, sem dúvida, motivador da aprendizagem científica.

Conclui-se ainda da importância que os alunos atribuem a serem eles próprios a fazer montagem experimental, a fazer medições e obter os valores das grandezas físicas.

Relativamente a criação de condições materiais para a realização do TL, podemos concluir que por vezes o uso de equipamentos simples, de baixo custo consegue ser muito motivador para os estudantes, já que aproxima a Ótica do seu quotidiano, e são em muitos casos adequados à compreensão dos fenómenos em estudo.

Isto não exclui que a aquisição de equipamento mais específico é imprescindível para se avançar para um bom laboratório de Ótica.

V.2 Algumas reflexões sobre o trabalho desenvolvido

Cabe ao professor definir uma metodologia adequada para o ensino de um determinado tema e analisar os seus resultados.

Parece-nos o método usado no TL foi adequado. Há, no entanto, modificações que devem ser implementados:

1. É necessário clarificar alguns pontos nos protocolos. Em particular, a linguagem tem de ser mais acessível para o tipo de alunos da UNTL. Isto foi sugerido nas respostas dos alunos.
2. E também importante dispor de um espaço próprio na UNTL, onde seja possível, por exemplo; fazer uma câmara escura.
3. É necessário adquirir material que permita avançar para outros temas: estudo das cores, espetrometria, etc.
4. Deve fazer-se uma melhor calendarização das aulas práticas, bem inseridas no tempo da unidade curricular e com duração mais adequada – talvez duas horas por trabalho.

Timor Leste é um país muito jovem com necessidade absoluta de investimento na área de educação. Do trabalho desenvolvido podemos concluir, para além do esforço que deve ser exigido aos docentes, a UNTL deve providenciar para que:

1. Os docentes possam melhorar a sua capacidade pedagógica e científica, quer através de ações de formação quer com a criação de um curso mestrado em Ensino da Física (eventualmente em colaboração com uma universidade Portuguesa, em princípio com a universidade do Porto).
2. A universidade disponha de uma oficina própria com capacidade para reparar pequenos equipamentos, replicar e construir pequenas peças. Tal poderia passar, por exemplo por um protocolo de cooperação entre o DEF com a faculdade Engenharia da UNTL.
3. A universidade melhorar a sua biblioteca na área da Ótica, adquirindo algumas obras gerais neste domínio..

V.3 Algumas sugestões para investigações futuras

O trabalho apresentado poderia ser completado com:

1. A criação de laboratórios noutras áreas da Física, em particular com laboratório de Física Geral.
2. A criação de uma sala de ensino interativo da Ótica, eventualmente aberto as escolas secundárias, por exemplo uma *Sala do Mágico*.

Referências Bibliográficas

- Alonso M., Finn E. J. (2012), FÍSICA, Escolar Editora, Lisboa: 2012.
- Costa, M.M. R.R., de Almeida, M. J. B. M – FUNDAMENTOS DE FÍSICA, Livraria Almedina. Coimbra. 1993.
- Hecht E. (1991), ÓPTICA- Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 1991.
- Hodson, D. (1988). Experiments in Science and Science Teaching. Wiley. 1988.
- Hodson, D. (2000). The place of practical work in Science Education. In Sequeira, M. et al. (org). Trabalho prático e experimental na educação em ciências. Braga: Universidade do Minho. 2000.
- Hofstein, A & Lunetta, V (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. Review of Educational Research, Vol. 52, pp. 201-217. 1982.
- Hofstein, A & Lunetta, V (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. Science Education, Vol. 88. pp. 28–54, 2004.
- Laurinda Leite (2000). AS ACTIVIDADES LABORATORIAIS E A AVALIAÇÃO DAS APRENDIZAGENS DOS ALUNOS. In Sequeira, M. et al. (org.). Trabalho prático e experimental na educação em ciências. Braga: Universidade do Minho, 91 - 108. 2000.
- Lunetta, V. (1991). Actividades Práticas no Ensino da Ciência. Revista de Educação. Volume II. 1991.
- Moreira, Ana R. C. C. V. (2014), ATIVIDADE LABORATORIAL NO ENSINO DAS CIÊNCIA: um estudo exploratório – Lisboa, 2014.
- Silva, P. A. da C. (2006), Actividades Laboratoriais P. O. E. R e a Educação Ambiental: um estudo centrado na aprendizagem do tema “A importância da água para os seres vivos”, 5º ano de escolaridade - Universidade do Minho, Escola de Ciência, maio de 2006.
- Wellington, J. (1998). Practical work in science: Time for a reappraisal. In Wellington, J. (ed). Practical work in school science: Which way now?. London: Routledge. 1998.
- Wellington, J. (2000). Teaching and learning secondary science: contemporary issues and practical approaches. London: Routledge. 2000.

Anexo 1 - Protocolos laboratoriais

AS LEIS DA REFLEXÃO E DA REFRAÇÃO DA LUZ

1. Objetivos

- Verificar as leis da reflexão e da refração.
- Determinar o índice de refração do acrílico.
- Determinar o ângulo crítico a partir do qual ocorre reflexão total no acrílico.

2. Fundamentos teóricos

Quando um feixe de luz incide numa superfície de separação de dois meios transparentes, o feixe é parcialmente refletido e parcialmente refratado. (No caso particular de um dos meios ser transparente e o outro refletor, o sistema diz-se catrópico; um exemplo destes sistemas é um espelho).

A reflexão ocorre quando a luz que incide numa superfície é reenviada por essa superfície para o mesmo meio.

À passagem da luz de um meio material para outro no qual se propaga a velocidade diferente, dá-se o nome de refração.

2.1 Reflexão e Refração: Leis de Snell-Descartes

As leis da Reflexão são:

1ª lei: o raio incidente, a normal à superfície de separação no ponto de incidência e o raio refletido estão no mesmo plano.

2ª lei: o ângulo de incidência é igual o ângulo de reflexão.

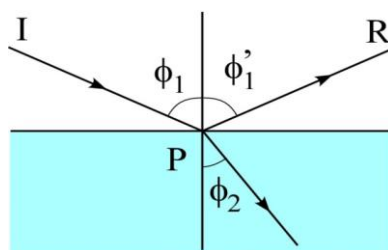


Figura 1 - Trajetos de um raio quando incide na superfície de separação de dois meios diferentes

Na figura 18 representamos um raio luminoso, \overline{IP} , que incide no ponto P e o correspondente raio refletido \overline{PR} . Os ângulos definidos pela direção da normal no ponto de incidência e as direções correspondentes dos raios incidente e refletido são chamados de ângulo de incidência (ϕ_1) e de ângulo de reflexão (ϕ'_1).

As leis da reflexão exprimem-se assim pelas relações:

$$|\phi_1| = |\phi'_1| \text{ ou } \phi_1 = -\phi'_1 \quad (1)$$

As Leis da Refração

1ª lei: o raio incidente, a normal à superfície de separação no ponto de incidência e o raio refletido estão no mesmo plano.

2ª lei (lei de Snell-Descartes): a razão entre o seno do ângulo de incidência, θ_1 e o seno do ângulo de refração, θ_2 , é constante e igual a:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

onde n_i é o índice de refração do meio $i=1,2$.

O índice de refração de um meio é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz nesse meio, v , para uma dada frequência da radiação, ou seja:

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

Ângulo crítico

Quando a luz passa de um meio (1) com índice de refração n_1 , para outro meio (2) com um índice de refração inferior, ($n_1 > n_2$), a lei de Snell-Descartes parece indicar em alguns casos (quando o ângulo de incidência é suficientemente grande) que o seno do ângulo de refração seja maior que um. Isso claramente é impossível. O maior ângulo de incidência possível que ainda resulta em um raio refratado é chamado de ângulo crítico, θ_c . Portanto o ângulo crítico satisfaz à relação (ver a lei de Snell-Descartes):

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad (4)$$

Reflexão total

A reflexão total ocorre quando a luz incide na superfície de separação de dois meios, incidindo do meio (1) com maior índice de refração para outro meio (2) ($n_1 > n_2$), segundo um ângulo superior ao ângulo crítico. O ângulo crítico é o ângulo de incidência para o qual o feixe de luz refratado será paralelo à superfície. Aumentando o ângulo de incidência para além do ângulo crítico o feixe refratado desaparece e toda a luz passa a ser refletida.

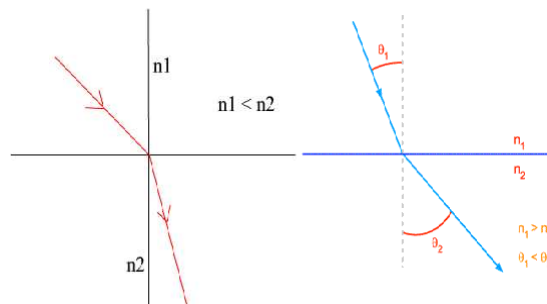


Figura 2: Trajetória de um raio quando incide na superfície de separação de dois meios diferentes (a) do meio menos refringente para mais refringente; (b) do meio mais refringente para o meio menos refringente.

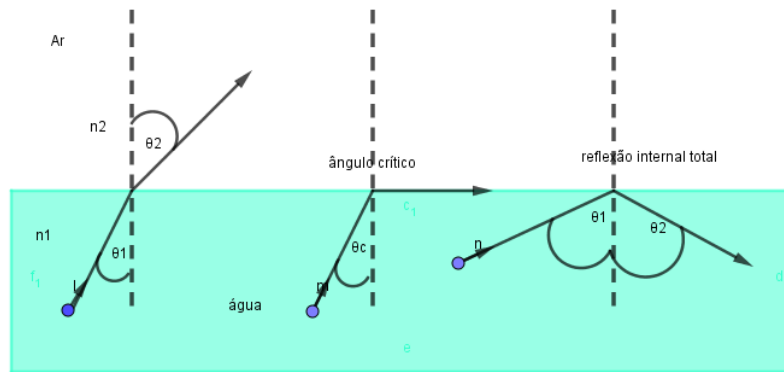


Figura 3 Refração da luz.

3. Trabalho experimental

3.1 Material

- Semicírculo de acrílico.
- Disco graduado e respetivo suporte.
- Laser com lente cilíndrica e alimentador de pilhas.

3.2 Execução do trabalho

Atividade I:

- a) Fazer a montagem indicada na figura 4:



Figura 4 um esquema da montagem em vez de uma fotografia neste ângulo.

- b) Colocar o bloco de acrílico centrado sobre o disco graduado.
- c) Alinhar o laser com o bloco de vidro semicircular, de modo a que ele incida na superfície plana.
- d) Reduzir a luz da sala.
- e) Incidir o raio luminoso do laser segundo um ângulo de 30° .
- f) Registrar os ângulos de refração e de reflexão (incidindo no centro do semicírculo a segunda refração faz-se com incidência perpendicular, e consequentemente, não ocorre refração na face curva)
- g) Rodar o disco graduado e repetir as medições para outros ângulos, e preencher a tabela seguinte:

| ângulos de | | | n (índice refração) |
|------------|----------|----------|---------------------|
| Incidência | Reflexão | Refração | |
| ... | | | |
| 30° | | | |
| ... | | | |

- h) Usando os valores obtidos verificar as leis da reflexão e da refração.
- i) Calcular o índice de refração e comparar o valor obtido com o valor tabelado (1,46 a 1,48).

Atividade II: Determinar o ângulo crítico a partir do qual ocorre reflexão total num vidro.

3.3. Material

Os materiais que vamos utilizar na atividade II são os mesmos da atividade I (ver parte 3.1).

3.4 Execução do trabalho

- a) Faça incidir agora o feixe de luz pela face curva, (assegure-se que é dirigido para o centro do semicírculo) e repita os procedimentos da atividade anterior.

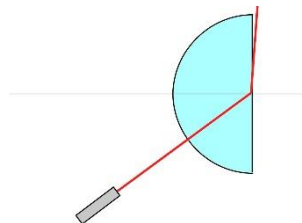


Figura 5

- b) Posicionar e alinhar laser com o bloco de vidro semicircular.
- c) Reduzir a iluminação da sala.
- d) Rodar o bloco de vidro até que o feixe emergente seja praticamente rasante. Este será o ângulo crítico. Registe-o.
- e) Consultar o valor de índice de refração já obtido na atividade I, e calcular o valor do ângulo crítico, que se obtém usando a relação:

$$\sin \theta_c = 1/n$$

- f) Determinar o erro da medição.

4. Referências

Hecht E., Óptica - Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa: 1991.

Costa, M.M. R.R., de Almeida, M. J. B. M – Fundamentos De Física, Livraria Almedina. Coimbra – 1993.

DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA FOCAL DE ESPELHOS ESFÉRICOS

1. Objetivos

- determinar a distância focal de um espelho esférico.
- caracterizar as imagens dadas pelos espelhos esféricos.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Reflexão em espelhos curvos

O espelho curvo esférico é um espelho cuja superfície é uma calote esférica. Podem ser espelhos côncavos ou convexos. Na figura 1 mostra-se um raio incidente e o correspondente raio refletido num espelho convexo e num espelho côncavo.

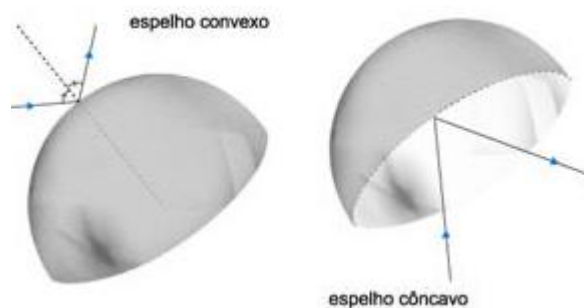


Figura 1

Reflexão num espelho esférico

Para analisar a reflexão de ondas numa superfície esférica, devemos estabelecer certas definições e convenções de sinais. O centro de curvatura C é o centro da superfície esférica (ver Figura 24) e o ponto O é o vértice do calote esférica. A linha que passa por O e C designa-se eixo principal. Tomando a origem das coordenadas em O , todas as quantidades medidas para a direita de O são positivas e, para a sua esquerda são negativas.

Fórmula de Descartes

Suponhamos que o ponto P da figura 2 é uma fonte de raios. Usando as leis de reflexão, o raio incidente PA reflete-se segundo AQ , intersectando o eixo principal no ponto Q . Designando a distância entre o ponto objeto e o espelho, OP , por p e a distância do ponto imagem ao espelho OQ , por q , então, se os ângulos θ_1 e θ_2 forem pequenos (isto é, no caso de raios paraxiais), estas duas quantidades estão relacionadas pela expressão de Descartes para a reflexão numa superfície esférica.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{r} \quad (1)$$

Como nesta expressão não existe qualquer referência ao ponto A, concluímos que, nas condições indicadas, todos os raios incidentes que passam por P passarão por Q, depois de refletidos na superfície esférica.

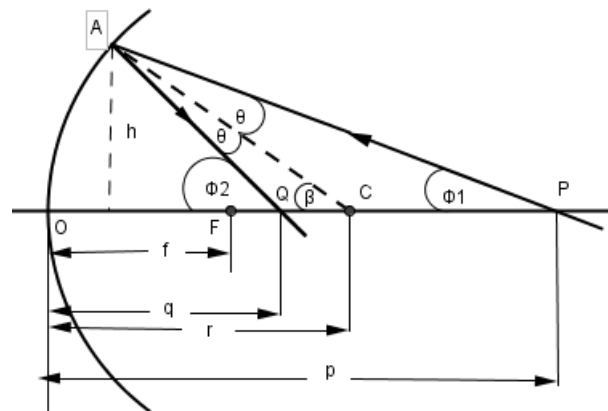


Figura 2 - Traçado de raios num espelho esférico.

O foco

No caso de o raio incidente ser paralelo ao eixo principal, o que é equivalente a colocar o objeto a uma distância muito grande do espelho, obtém-se ($p = \infty$):

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{r} \quad \text{ou} \quad f = \frac{r}{2} \quad (2)$$

onde se introduziu f , a distância focal, que representa a distância do ponto F (o foco) ao espelho.

A equação (1) pode agora ser escrita como:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

De acordo com a convenção de sinais adotada, f é positiva no caso de espelhos côncavos e é negativa no caso espelhos convexos. Procedendo de modo análogo para outros raios incidentes, (ver Figura 3) pode-se concluir que:

- - os raios incidentes paralelos refletem-se passando por F;
- - os raios incidentes que passam por F refletem-se saindo paralelamente ao eixo principal;
- os raios que passam por C refletem-se passando novamente por C.

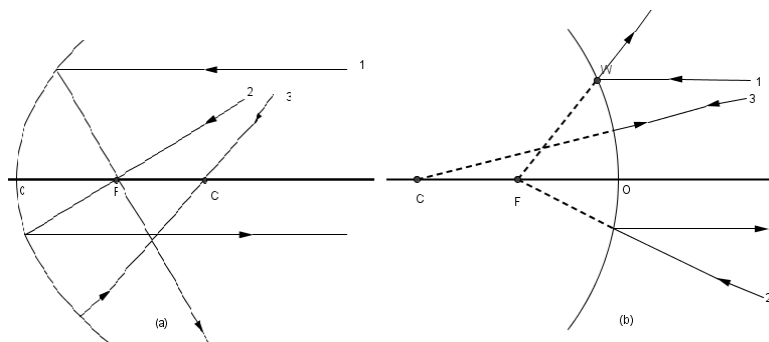


Figura 3 - Principais raios em espelhos esféricos (a) côncavos, (b) convexo

Nas figuras 4(a) e 4(b) exemplifica-se a construção da imagem de um objeto AB. Na figura 4(a) a imagem (ab) é real, uma vez que os raios refletidos se cruzam à frente do espelho, e é invertida e menor que o objeto. Na figura 4(b) a imagem é virtual, porque os raios se cruzam atrás do espelho e é direita e menor que o objeto.

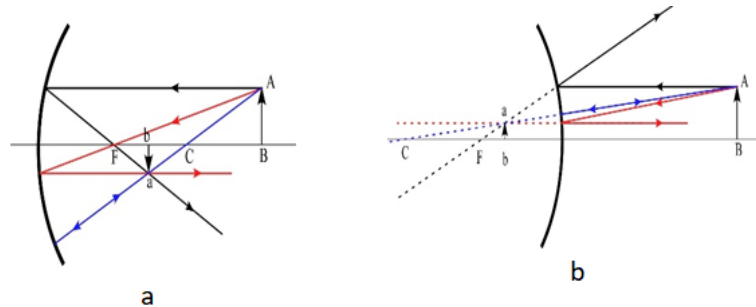


Figura 4 - Construção da imagem de um objeto em espelhos esféricos. (a) côncavo, (b) convexo

3. Trabalho Experimental

Atividade I: Determinação da distância focal de um espelho côncavo e caracterizar a imagem.

3.1 Material

- espelho côncavo (convergente)
- caixa de luz com objeto luminoso
- régua
- alvo

3.2 Execução do trabalho

- a) Verificar que o objeto, no papel translúcido, está colado no orifício da caixa de luz.
- b) Colocar o espelho côncavo na mesa em posição vertical e alinhado com o objeto como mostra na figura 5.



Figura 5

- c) Ligar a luz.
- d) Mover um papel como alvo para ver a imagem do objeto.
- e) Medir a distância entre o centro ótico do espelho e o alvo (Q); e, medir a distância entre o objeto e o espelho (P).

- f) Observar a imagem que aparece no alvo.
- g) Repetir os procedimentos (c), (d) e (e) várias vezes, variando a distância entre o espelho e o objeto. Escrever os resultados das medições na tabela seguinte:

| | p/cm | q/cm | f/cm |
|-----|------|------|------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| ... | | | |

- h) Com base nos resultados, determinar o valor mais provável de f e caracterizar as imagens obtidas.
- i) Representar graficamente $1/q$ em função de $1/p$ e a partir da ordenada na origem determinar $1/f$.
- j) Comparar os valores de f obtidos pelos dois métodos anteriores.

Atividade II: caraterizar a imagem dada por um espelho convexo (divergente)

3.3 Material

O equipamento é o mesmo da atividade I, apenas se usa aqui um espelho convexo.

3.4 Execução do trabalho

- a) Repetir os procedimentos de (a) a (e).
- b) Descreve e caracterizar a imagem que aparece no espelho.

4. Referências

Alonso M., Finn E. J. – Física. Escolar Editora, Lisboa: 2012.

Hecht E., Óptica - Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa: 1991.

Costa, M.M. R.R., De Almeida, M. J. B. M – Fundamentos de Física, Livraria Almedina. Coimbra – 1993.

UM ESTUDO SOBRE LENTES

1. Objetivos

- Determinar a distância focal de uma lente convergente, pelo método dos focos conjugados.
- Caracterizar a imagem formada por uma lente.
- Determinar a distância focal de uma associação de lentes delgadas.

2. Fundamentos teóricos

Uma lente é um meio transparente limitado por duas superfícies curvas (em geral esféricas ou cilíndricas), embora uma possa ser plana. Por isso, um raio incidente numa lente sofre uma mudança de direção. Para simplificar, iremos supor que o meio adjacente a ambos os lados da lente é o mesmo e o seu índice de refração é um (índice de refração do ar), enquanto o índice de refração da lente é n .

2.1 Refração em superfícies esféricas

A maior parte das lentes que hoje se utilizam no quotidiano têm superfícies esféricas.

Convenções:

- lente convergente (ou lente positiva) é uma lente em que os raios incidentes paralelos se refratam convergindo num ponto a que se chama foco da lente.
- lente divergente (ou lente negativa) é uma lente em que os raios incidentes paralelamente ao eixo da lente são refratados divergindo a partir do foco.
- Assumindo que a luz se propaga da esquerda para a direita, considera-se positiva a distância entre o objeto e a lente se este estiver à esquerda da lente.
- Assumindo que a luz se propaga da esquerda para a direita, considera-se positiva a distância entre a lente e a imagem se a imagem estiver à direita da lente.
- Uma imagem diz-se real se puder ser projetada num alvo, i.e., se os raios provenientes do mesmo ponto do objeto se cruzarem depois de atravessar a lente (ver figura 1).
- No caso em que os raios provenientes do mesmo ponto do objeto não se cruzarem depois da lente, mas pareçam divergir de um ponto atrás da lente, diz-se que a imagem é virtual (ver figura 1). Se olharmos através da lente conseguimos ver a imagem do objeto, mas não conseguimos projetá-la num alvo.

No que segue consideram-se apenas lentes delgadas, isto é, de pequena espessura, constituídas por dois dióptros esféricos.

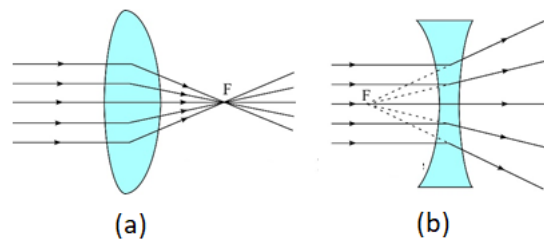


Figura 1

Fórmula de Descartes

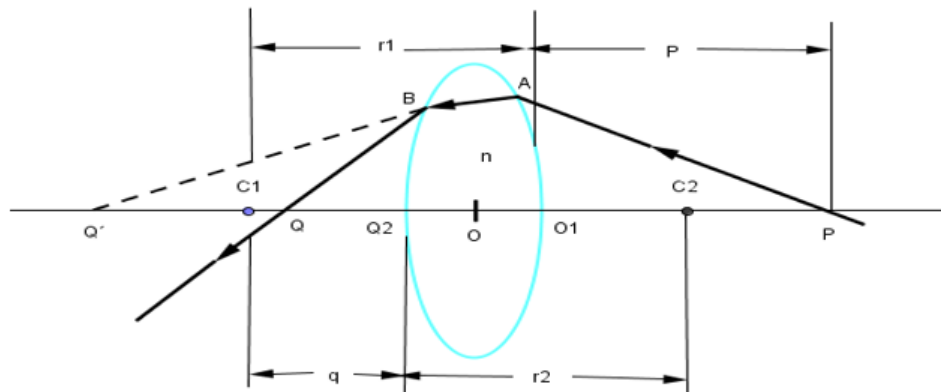


Figura 2 – trajetória de um raio ao atravessar uma lente

Considere-se (ver figura 2) o raio incidente PA que passa por P. Na primeira superfície, o raio incidente é refratado segundo o raio AB. Se o prolongarmos, este passará por Q' que é, por conseguinte, a imagem de P produzida pela primeira superfície refratora. A distância q' de Q' a O1 obtém-se por aplicação da equação:

$$\frac{1}{p} - \frac{n}{q'} = \frac{1-n}{r_1} \quad (1)$$

onde $n_1=1$ é o índice de refração do ar e n_2 é o índice de refração da lente. Em B, os raios sofrem uma segunda refração obtendo-se o raio BQ. Então Q é imagem final de P produzida pelo sistema das duas superfícies refratoras que constituem a lente. Considerando a refração em B, o objeto (virtual) é Q' e a imagem é Q, a uma distância q da lente. Então fazendo, $n_1 = n$ e $n_2=1$ e $p=q'$, podemos escrever a equação:

$$\frac{n}{q'} - \frac{1}{q} = \frac{n-1}{r_2} \quad (2)$$

A ordem dos índices de refração foi invertida porque o raio passa da lente para o ar. Combinando as duas equações anteriores obtém-se a fórmula de Descartes para uma lente delgada:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n - 1) \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \quad (3)$$

Nesta equação, q é positivo se a imagem for real, porque está à esquerda da lente, e a negativo se a imagem for virtual.

Pontos focais.

Como no caso de uma só superfície refratora, o foco objeto F_o , (ou primeiro ponto focal) de uma lente é a posição do objeto para o qual os raios emergem paralelamente ao eixo principal ($q = \infty$) depois de terem atravessado a lente. A distância de F_o à lente designa-se por distância focal objeto e representa-se por f . Então fazendo $p=f$ e $q=\infty$ na equação (3), determinamos a distância focal objeto:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \quad (4)$$

Combinado as equações (3) e (4), obtemos:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

que é conhecida como a fórmula de Gauss.

Analogamente para um raio incidente paralelo ao eixo principal $p = \infty$, o raio emergente passa pelo ponto F_i , com $q = -f$ que se designa por foco imagem.

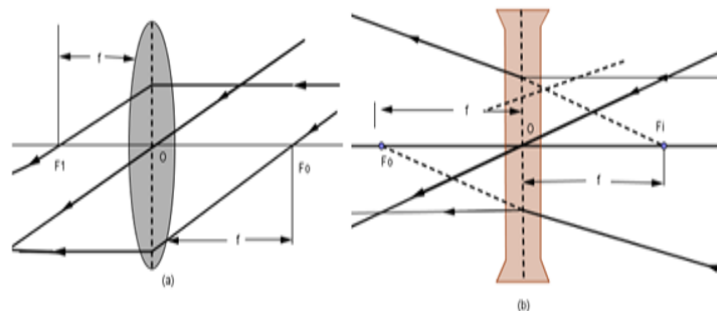


Figura 3 – raios principais (a) lente convergente e (b) lente divergente

2.2 - Formação de uma imagem por uma lente fina

Consideremos um ponto P situado a uma distância s_o (maior que a distância focal) de uma lente fina convergente, conforme indicado no esquema seguinte. A imagem de um ponto é determinada pelo cruzamento de dois raios que, partindo desse ponto, atravessam a lente.

Assim, consideremos os raios designados por *a* (paralelo ao eixo ótico) e *c* (que passa pelo foco objeto). O raio *a* deverá passar pelo foco imagem, o raio *c* deverá emergir paralelo ao eixo ótico. Portanto estes raios cruzam-se no ponto P'.

O raio *b*, que passa pelo centro (o) da lente de pequena espessura, não é desviado.

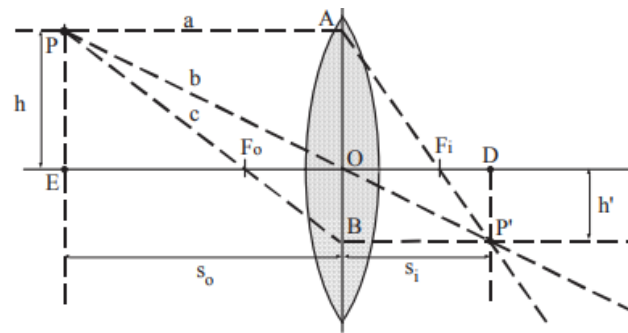


Figura 4 – formação da imagem numa lente convergente

A razão entre as dimensões transversais da imagem e do objeto é designada por ampliação transversal M_T , e é dada por:

$$M_T = \frac{h_q}{h_p} = -\frac{q}{p} \quad (6)$$

2.3 Associação de lentes delgadas

Duas lentes podem ser associadas obtendo-se um outro sistema ótico. Por simplificação vamos apenas considerar lentes finas e justapostas (a distância entre as lentes é muito menor do que a distância focal das lentes ($L \gg F$)). Nalguns casos o sistema resultante das duas lentes comporta-se como uma única lente – a lente equivalente.

Dada uma lente esférica define-se a vergência da lente (V) como o inverso da sua distância focal ou seja:

$$V = \frac{1}{f} \quad (7)$$

(A unidade utilizada para caracterizar a vergência de uma lente é a dioptria (di): $1 \text{ di} = 1 \text{ m}^{-1}$). A vergência da lente equivalente é dada (teorema das vergências) por

$$V_{eq} = V_1 + V_2$$

ou de um modo equivalente:

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (8)$$

onde f_{eq} é a distância focal equivalente entre duas lentes, f_1 e f_2 as distâncias focais das duas lentes.

3. Trabalho experimental

Atividade I: Determinar a distância focal de uma lente convergente.

3. 1. Material

- lente convergente
- caixa de luz com objeto translúcido

- alvo
- fita métrica
- mola da roupa ou pinça (como suporte da lente)

3.2. Execução do trabalho



Figura 5

- a) Colocar a lente no suporte, com o seu eixo alinhado com a fonte de luz.
- b) Verificar se o objeto está bem fixo na caixa de luz.
- c) Colocar a caixa da luz em frente à lente.
- d) Mover a lente aproximando-a e afastando-a do objeto para obter a imagem do objeto no alvo de forma nítida.
- e) Meça as distâncias p e q , respetivamente do objeto à lente e da imagem à lente.
- f) Alterar a distância do objeto (O) à lente; procurar de novo a posição da imagem. Medir novamente as distâncias p e q .
- g) Repetir os passos anteriores para mais algumas posições. Registar as distâncias p e q .
- h) Registar os dados numa tabela.

| p/cm | q/cm | $1/p/\text{cm}$ | $1/q/\text{cm}$ |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

- i) Representar graficamente $1/q$ em função de $1/p$.
- j) Determinar o valor da distância focal da lente através da análise do gráfico obtido, o qual deve correspondente a uma linha reta.
- k) Colocar a lente bastante próxima do objeto. Não deverá conseguir obter uma imagem no alvo, mas se olhar através da lente verá uma imagem virtual.

Atividade II: Estudar a associação de lentes delgadas.

3.3 Material

- 2 lentes finas
- mola ou pincel
- madeira
- caixa da luz
- alvo

3.4 Execução do trabalho

- a) -Efetuar a montagem da figura 6 em que L1 é uma lente ou o conjunto das duas lentes finas encostadas.

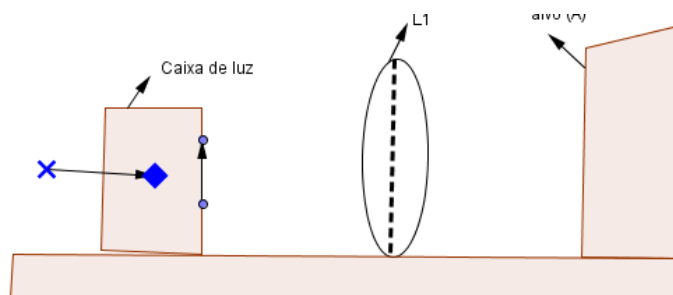


Figura 6

- b) Variar a posição do alvo de modo obter uma imagem real e invertida do objeto, registrar as distâncias objeto lente e lente alvo.
- c) Alterar a distância da lente ao objeto e repetir o ponto anterior.
- d) A partir dos dados registados numa tabela, calcular a distância focal da associação de lentes.
- e) Repetindo os passos anteriores determinar a distância focal do sistema das duas lentes, f . Registrar os valores encontrados na tabela.

| $p_{(L1)}/\text{cm}$ | $q_{(L1)}/\text{cm}$ | $1/p_{(L1)}/\text{cm}$ | $1/q_{(L1)}/\text{cm}$ | $1/f_1/\text{cm}$ | f_1/cm |
|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

- f) Calcular a distância focal de duas lentes finas encostadas através da expressão:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

4. Referências

Alonso M., Finn E. J. – Física. Escolar Editora. Lisboa: 2012.

Hecht E., Óptica - Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa: 1991.

UM ESTUDO SOBRE A VARIAÇÃO DE INTENSIDADE LUMINOSA DE UMA FONTE PONTUAL COM A DISTÂNCIA À FONTE

1. Objetivo

Verificar que a intensidade da luz de uma fonte pontual num ponto varia inversamente com o quadrado da distância entre fonte e o ponto.

2. Fundamentos teóricos

A intensidade luminosa de uma fonte, I , é a potência, P , emitida por unidade da área perpendicular a direção da propagação da energia e por unidade de ângulo sólido. Assumindo que fonte é isotrópica, a potência por unidade de área (Irradiância) varia inversamente com a distância a fonte, r , já que a área iluminada é proporcional a r^2 . Assim:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

No sistema SI I mede-se em W/m^2 . Este comportamento em $1/r^2$ surge em diversas áreas da Física com por exemplo em gravitação, em eletromagnetismo, em acústica etc.

Pode-se verificar a lei de quadrado da distância de um modo simples usando um LDR (do inglês *Light Dependent Resistor* ou em português Resistor Dependente de Luz) ou um fotodíodo.

Na montagem utilizada no laboratório o fotodíodo fornece uma corrente proporcional à irradiância. Essa corrente é transformada em diferença de potencial elétrica na resistência (alterando o valor da resistência, alteramos a escala do fotodíodo).

3. Trabalho experimental

3.1 Material

- 1 lâmpada incandescente com o filamento pequeno (lâmpada de candeeiro)
- 1 detetor (fotodíodo)
- resistência
- voltímetro
- 1 fita métrica

3.2 Execução do trabalho

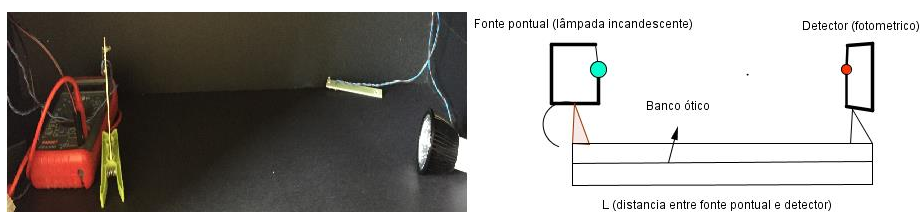


Figura 1

- a) Efetuar a montagem de figura 1.
- b) Escurecer a zona de trabalho.

- c) Prender a régua, ou fita métrica, na mesa.
- d) Montar o detetor alinhado com a fonte pontual.
- e) Registrar o valor lido no voltímetro com a lâmpada desligada (para subtrair o “valor de fundo”)
- f) Ligar a fonte pontual (lâmpada de candeeiro).
- g) Iluminar o detetor para detetar a iluminação da fonte pontual.
- h) No primeiro ensaio pôr o detetor à distância de 25 cm da fonte. A seguir variar esta distância fazendo pelo menos 5 ensaios. Registrar os valores na tabela.
- i) Preencher a terceira coluna da tabela, indicando a respetiva unidade.
- j) Representar graficamente $I = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$. O que pode concluir da forma deste gráfico?

| Irradiância (W/m ²) | Distância (d/m) | 1/r ² |
|---------------------------------|-----------------|------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

4. Referências

<http://projetosfisicaexperimental.blogspot.pt/2016/03/lei-do-inverso-do-quadrado-da-distancia.html>

DETERMINAÇÃO DE UM PADRÃO DE DIFRAÇÃO

1. Objetivos

- Estudo da difração.
- Determinar a espessura de um cabelo, usando a técnica de difração.

2. Fundamentos teóricos

Em Ótica geométrica é sempre assumido que o percurso da luz é retilíneo. Esta afirmação deve ser compreendida apenas como uma aproximação para os casos em que as dimensões dos objetos sejam muito maiores que o comprimento de onda da luz (λ) (entre 10^{-6} m e 10^{-7} m) que o ilumina.

Quando um feixe luminoso incide num anteparo com uma fenda de dimensão da ordem do comprimento de onda observam-se no alvo regiões alternadamente escuras e luminosas, correspondentes a regiões onde a intensidade luminosa é baixa ou elevada, respetivamente.

Na figura 1 mostra-se um padrão de difração por uma fenda. Na aproximação de $d \ll D$ (D , distância entre o anteparo e o ecrã; d , dimensão da fenda) tem-se:

- os pontos onde a intensidade é máxima satisfazem à relação:

$$\text{sen } \theta = \frac{y}{d}$$

sendo y a ordenada do ponto.

- os pontos onde a intensidade é nula são dados por:

$$\text{sen } \theta = \frac{y}{D}$$

O máximo principal ocorre para $y = 0$.

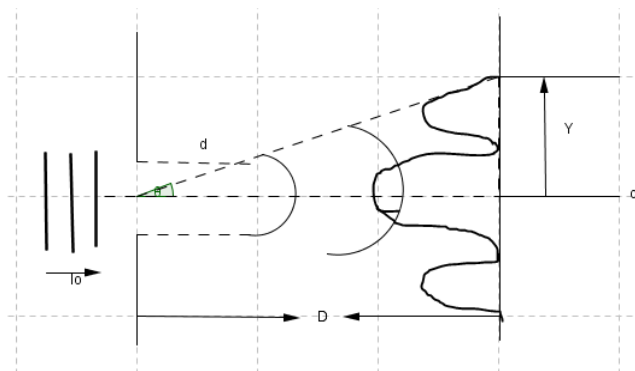


Figura 1 - Difração por uma fenda simples (elaborada pela autora)

Difração de Fraunhofer por um fio fino

Um fio opaco pode considerar-se um obstáculo no trajeto da luz análogo ao de uma fenda num anteparo. O padrão de difração observado nos dois sistemas é idêntico.

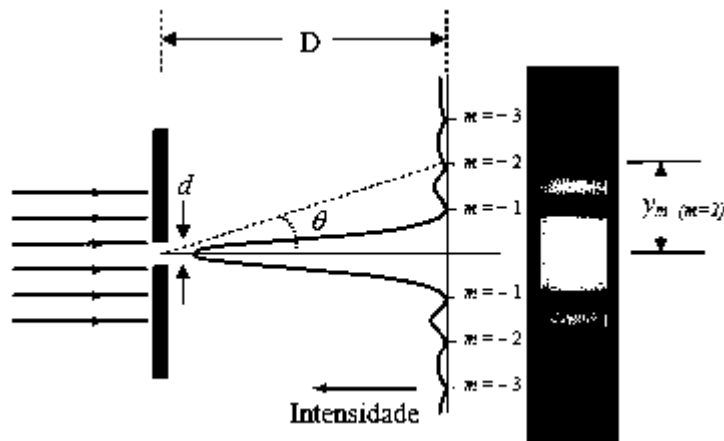


Figura 2 - Padrão de difração produzido por uma fenda de abertura d

Assim, por exemplo, a determinação do diâmetro de um fio (d) pode ser feita usando-se a relação:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

o valor de "m" correspondente a um mínimo de intensidade no padrão de difração. No caso particular de $D \gg d$, $\sin \theta_m \approx \tan \theta_m = \frac{y_m}{D}$, o diâmetro do fio, é dado por:

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \theta_m} = \frac{m\lambda D}{y_m}$$

3.Trabalho experimental.

3.1. Equipamento

- Laser semiconductor ($\lambda \sim 650 \text{ nm} = 0,65 \mu\text{m}$)
- Banco ótico ou mesa
- Rede de difração
- Régua e cabelo
- Alvo (papel milimétrico)

3.2 Execução do trabalho

- a) Fazer a montagem seguinte:

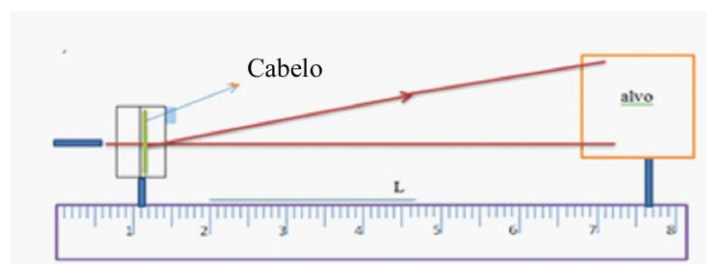


Figura 3

- b) Colocar o cabelo num suporte e este em frente do laser, alinhados como se mostra no esquema.
- c) Medir a distância entre o suporte do fio de cabelo e o ecrã (alvo/L/D).
- d) Cobrir o ecrã com uma folha de papel milimétrico ou uma folha de papel branco.
- e) Ligar o laser.
- f) Escurecer a sala, observar o padrão de difração e marcar na folha branca do ecrã as posições dos máximos de intensidade até ao primeiro zero mínimo.
- g) Acender as luzes da sala e retirar a folha branca onde foi feito o registo (f) e registar o respetivo valor de D
- h) Repetir os passos anteriores para diferentes distâncias fio de cabelo-ecrã, da ordem de 80, 100 e 120 cm.



Figura 4 – Imagem tirada pela autora

- (i) Preencher a tabela que se apresenta a seguir

| nº | D(cm) | λ ^m | Δy (mm) | $\Delta y/D$ | sen θ | d(diâmetro cabelo) |
|-------------|------------|------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------------|
| 1 | 60 | | | | | |
| 2 | 80 | | | | | |
| 3 | 100 | | | | | |
| 4 | 120 | | | | | |
| Valor médio | | | | | | |
| Erro | Percentual | | | | | |
| | Relativo | | | | | |

- i) Efetuar ensaios idênticos utilizando um filamento do cabelo fino, grosso e médio.
- j) Identificar os fatores que influenciam o diâmetro do cabelo.

4.Referências

Hecht E., Óptica - Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa: 1991.

Costa, M.M. R.R., De Almeida, M. J. B. M – Fundamentos De Física, Livraria Almedina. Coimbra – 1993.

UM ESTUDO DE POLARIZAÇÃO E VERIFICAÇÃO DA LEI DE MALUS

1. Objetivos

— Medir o ângulo da polarização. Verificação a lei de Malus.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Polarização

O campo eletromagnético é uma onda transversal, isto é, é perpendicular à direção de propagação, \vec{u} . Por exemplo, se a onda se propagar segundo O_z , então:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_x(\vec{x}, t)\hat{i} + E_y(\vec{x}, t)\hat{j} \quad (1)$$

onde, com generalidade se tem:

$$E_x(\vec{r}, t) = E_{0x} \cos(K_z Z - \omega t) \quad (2a)$$

$$E_y(r, t) = E_{0y} \cos(Kz - \omega t + \varepsilon) \quad (2b)$$

A polarização de \vec{E} corresponde ao lugar geométrico dos pontos descritos pelo campo eléctrico. Das equações (2a) e (2b) obtém-se:

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = \text{constante} \quad (3)$$

ou seja, o estado mais geral de polarização é o de polarização elíptica. Analisemos agora alguns casos particulares:

(i) se $\varepsilon = 0$;

$$\vec{E}_y(r, t) = \frac{E_{0y}}{E_{0x}} \vec{E}_x(\vec{x}, t) = \text{constante} \quad (4)$$

A equação (4) é a de uma linha reta e diz-se por isso que \vec{E} está polarizado linearmente.

(ii) se $\varepsilon = \pm \frac{\pi}{2}$ e $E_{0x} = E_{0y}$;

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = 1 \quad (5)$$

A equação anterior é a equação de uma circunferência. Neste caso, diz-se que \vec{E} está polarizada circularmente. A polarização diz-se circular direita ou circular esquerda consoante $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ ou $\varepsilon = -\frac{\pi}{2}$.

2.2 Polarizadores

Um polarizador é um dispositivo ótico que transforma luz natural (que é não polarizada) em luz polarizada.

O dicroísmo consiste na absorção seletiva de um dos dois estados de polarização ortogonais que compõem um feixe de luz polarizada. O polarizador dicroico é fisicamente anisotrópico, absorvendo fortemente uma das componentes do campo, mas sendo essencialmente transparente para a outra.

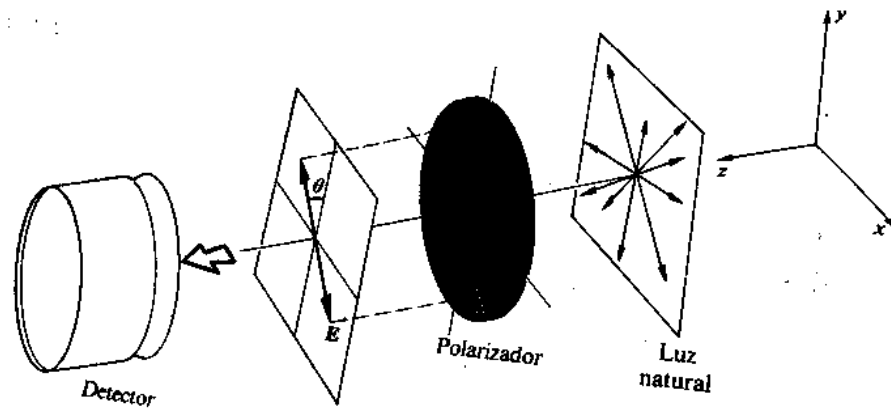


Figura 1 - Polarizador linear

Na figura 1 mostra um feixe de luz natural incidindo num polarizador linear ideal. Matematicamente a luz natural é representada como a sobreposição de duas ondas ortogonais linearmente polarizadas de igual amplitude, incoerentes entre si. Se se rodar o polarizador em torno do eixo Oz (ver figura) a intensidade da radiação detetada não varia, em consequência da simetria da luz não polarizada. Se, pelo contrário, se rodando o polarizador se provoca uma variação da intensidade detetada, então estamos em presença de radiação com uma direção de polarização preferencial.

A Intensidade da radiação é proporcional ao quadrado da amplitude do campo elétrico (veja a equação 1):

$$I = \frac{1}{2\varepsilon} v |E|^2 \quad (6)$$

onde

ε = permeabilidade eléctrica do meio.

v = velocidade da luz.

No caso particular do vazio, equação anterior escreve-se:

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c |E|^2 = \frac{1}{2} \frac{c}{\mu_0} |\vec{E}|^2 \quad (7)$$

onde se usou $\varepsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$.

Para radiação monocromática é habitual definir-se a percentagem de polarização da radiação por:

$$\% \text{ Polarização} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100\% \quad (8)$$

onde I_{\max} e I_{\min} são os valores máximos e mínimo das intensidades.

2.3 Lei de Malus

Suponhamos que um feixe com intensidade I_0 , polarizado linearmente fazendo um ângulo com O_y , por exemplo, incide num polarizador cujo eixo da transmissão segundo O_y . Então se antes do polarizador, a intensidade do feixe é I_0 , após o polarizador, a intensidade do feixe é $I_0 \cos^2 \theta$. Este é o conteúdo da lei de Malus que se pode escrever na forma seguinte:

$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \theta$$

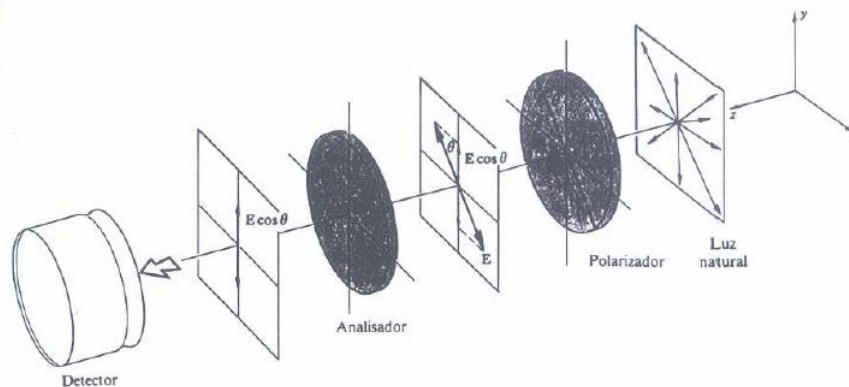


Figura 2 - Polarizador e analisador lineares - lei de Malus.

3 Trabalho experimental

3.1 Material

- fonte de luz (laser)
- detetor
- voltímetro
- 2 polarizadores

3.2 Execução do trabalho

- a) Alinhar o laser e o detetor como se mostra na imagem.

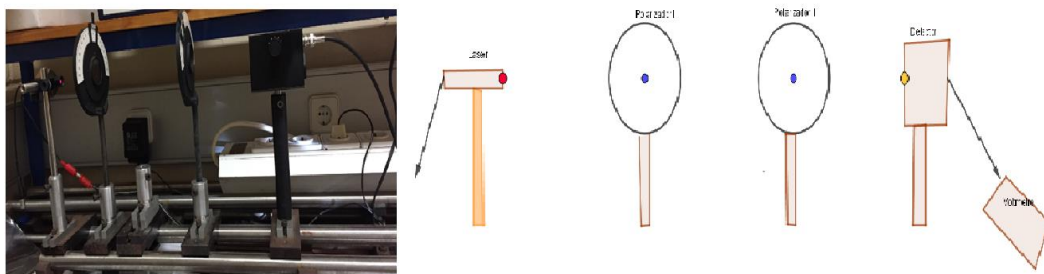


Figura 3 - Imagem obtida no DFA-FCUP e figura elaborada pela autora.

- b) Ligar o laser.
- c) Ligar o detetor ao voltímetro.

- d) Fixar o polarizador I.
- e) Rodar o polarizador II lentamente no sentido horário ou anti-horário.
- f) Procurar o ângulo de rotação do analisador com o polarizador para o qual a intensidade da luz no alvo se torna mínima e máxima.

| | Ângulo de rotação do polarizador (°) | Irradiância ($\propto V$) | $\cos^2 \theta$ |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | | | |
| | | | |
| % Polarização | | | |

- g) Preencher a tabela dos dados.
- h) Representar graficamente I/I_0 em função $\cos^2 \theta$.

4 Referências

Hecht E. - Óptica. Edição da Fundação Calouste Gulbenkian, Av. De Berna – Lisboa-1991.

ANEXO 2 - Resultados das experiências realizadas no DFA-UP

Trabalho laboratorial 1 - As leis da reflexão e da refração

Atividade I: Verificar as leis da reflexão e da refração e determinar o índice de refração do vidro.

Tabela 9 Resultados das determinações experimentais

| nº | θ_i | $\text{sen } \theta_i$ | θ_r | θ_t | $\text{sen } \theta_t$ | $n_v = \text{sen } \theta_i / \text{sen } \theta_t$ |
|-------------|------------|------------------------|------------|------------|------------------------|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 30 | 0,5 | 30 | 19 | 0,32 | 1,5625 |
| 3 | 45 | 0,7 | 45 | 28 | 0,46 | 1,52173913 |
| 4 | 60 | 0,86 | 60 | 35,5 | 0,58 | 1,482758621 |
| 5 | 65 | 0,9 | 65 | 37,1 | 0,6 | 1,5 |
| 6 | 70 | 0,94 | 70 | 41 | 0,65 | 1,446153846 |
| valor média | | | | | | 1,49137931 |

Os resultados obtidos estão de acordo com as leis de Snell:

- o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.
- o ângulo de transmissão pode ser maior ou menor que o ângulo de incidência. No caso da passagem do feixe ser no sentido ar – vidro, o ângulo de transmissão é menor que o ângulo de incidência.
- o ângulo de transmissão é proporcional ao ângulo de incidência.
- no caso da experiência realizada, quando o ângulo de incidência for de 30°, a quantidade da luz (intensidade) refletida é muito pouca.

Determinei o índice de refração do vidro; o valor obtido foi de 1,49. Portanto este valor é o mesmo com o valor tabelado (o índice de refração do acrílico é 1,49).

Atividade II – Determinar o ângulo crítico.

Usando os resultados expressos na tabela A2_1 calculei o ângulo crítico do vidro utilizado; o valor obtido foi de 42,45°. Este resultado foi utilizado a expressão:

$$\text{sen } \theta_c = 1/n$$

Trabalho laboratorial 2 -Um estudo sobre espelhos esféricos

Objetivos: - Determinar a distância focal de um espelho esférico côncavo.

-Caraterizar as imagens dadas pelos espelhos esféricos côncavos

Na Tabela 10 apresentamos os resultados das determinações experimentais.

Tabela 10 Resultados das determinações experimentais

| p/cm | /cm | 1/p | 1/q |
|------|-----|---------|---------|
| 15 | 6,8 | 0,06667 | 0,14706 |
| 20 | 5,7 | 0,05 | 0,17544 |
| 30 | 4,8 | 0,03333 | 0,20833 |
| 50 | 4,3 | 0,02 | 0,23256 |
| 80 | 4 | 0,0125 | 0,25 |

- a) A distância focal do espelho foi obtida a partir do declive do gráfico de $1/q$ em função de $1/p$. O valor obtido foi de 3,68 cm.

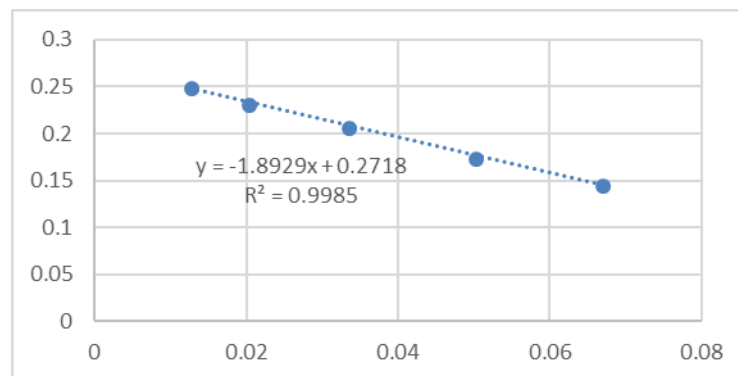


Gráfico 1 - $1/q$ em função $1/p$

A experiência pode ser usada para verificar as seguintes características das imagens formadas por espelhos côncavos:

- Quando o objeto está a uma distância do vértice do espelho maior que o raio deste, a imagem é real, invertida e menor que objeto.
- Quando o objeto está entre o foco e o centro do espelho. a imagem é real, invertida e maior que objeto.
- Quando o objeto está a uma distância do vértice inferior à distância focal, a imagem é virtual, direita e maior que objeto.

Trabalho laboratorial 3 - Um estudo sobre lentes

Atividade I: determinar a distância focal de uma lente convergente.

Tabela 11 - Resultados das determinações experimentais

| nº | p/cm | q/cm | 1/p | 1/q |
|----|------|------|---------|------------|
| 1 | 7 | 25 | 0,14286 | 0,04 |
| 2 | 10 | 12 | 0,1 | 0,08333 |
| 3 | 15 | 8,5 | 0,06667 | 0,11764706 |
| 4 | 30 | 6,5 | 0,03333 | 0,15384615 |
| 5 | 45 | 6,1 | 0,02222 | 0,16393443 |
| 6 | 80 | 5,7 | 0,0125 | 0,1754386 |

No Gráfico 2 representamos $1/q$ em função de $1/p$.

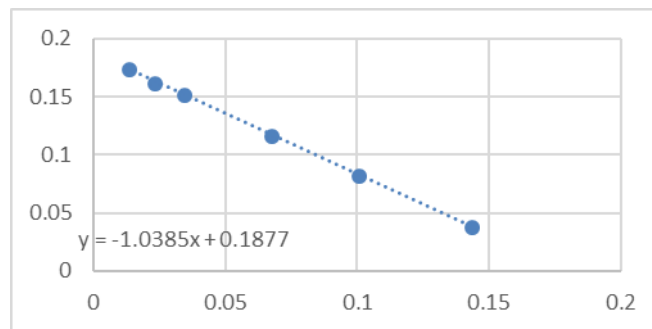


Gráfico 2 - $1/q$ em função $1/p$

A distância focal da lente foi obtida a partir do declive do gráfico de $1/q$ em função de $1/p$. O valor obtido foi de 5,33 cm.

A experiência pode ser usada para verificar as seguintes características das imagens formadas por lentes convergentes:

As imagens formam-se sempre atrás da lente, sendo reais quando a distância lente-objeto é maior que a distância focal. As imagens tornam-se virtuais, direitas e maiores que o objeto se a distância entre o objeto e a lente for menor que a distância focal.

Atividade II: -_Determinar a distância focal de uma lente composta.

Na

Tabela 12 - Resultados das determinações experimentais apresentamos os resultados das determinações experimentais

Tabela 12 - Resultados das determinações experimentais

| nº | p _{eq} /cm | q _{eq} /cm | p ₁ /cm | q ₁ /cm | 1/f _{eq} | 1/f ₁ |
|----|---------------------|---------------------|--------------------|---|-------------------|------------------|
| 1 | 49 | 9 | 49 | 21 | 0,131519 | 0,068027 |
| 2 | 45 | 9 | 49 | 21 | 0,133333 | 0,068027 |
| 3 | 40 | 9 | 40 | 23 | 0,136111 | 0,068478 |
| 4 | 35 | 9,5 | 35 | 25 | 0,133835 | 0,068571 |
| 5 | 30 | 10 | 30 | 29 | 0,133333 | 0,067816 |
| 6 | 25 | 10,5 | 25 | 35 | 0,135238 | 0,068571 |
| 7 | 10 | 30 | 10 | Não aparece a imagem porque a distância do objeto à lente é menor que f . | | |

A distância focal da lente 2, f_2 , foi obtida usando a expressão:

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Tabela 13 - Determinação da distância focal da lente 2

| f _{eq} /cm | f ₁ /cm | f ₂ /cm |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| 7,603464138 | 14,70005 | 15,75 |
| 7,50001875 | 14,70005 | 15,31 |
| 7,346944773 | 14,60323 | 14,79 |
| 7,471887025 | 14,58342 | 15,32 |
| 7,50001875 | 14,74578 | 15,26 |
| 7,394371404 | 14,58342 | 15 |
| Valor média | 7,485952888 | 14,65164 |
| | | 15,285 |

O valor obtido para distância focal da lente 2 foi 15,3 cm.

Trabalho laboratorial 4 - Um estudo sobre a variação de intensidade luminosa com a distância à fonte.

Objetivos: -Verificar a lei do inverso do quadrado da variação de intensidade luminosa com a distância à fonte

Na

Tabela 14 apresentamos os resultados das determinações experimentais

Tabela 14 - resultados das determinações experimentais

| nº | I(W/m ²) | r(cm) | r ² (cm ²) | 1/r ² |
|----|----------------------|-------|-----------------------------------|------------------|
| 1 | 5,25 | 30 | 900 | 0,001111 |
| 2 | 5,16 | 40 | 1600 | 0,000625 |
| 3 | 5,12 | 50 | 2500 | 0,0004 |
| 4 | 5,1 | 58 | 3364 | 0,000297 |

No gráfico A2_3 representamos graficamente $\frac{1}{r^2} = f(I)$.

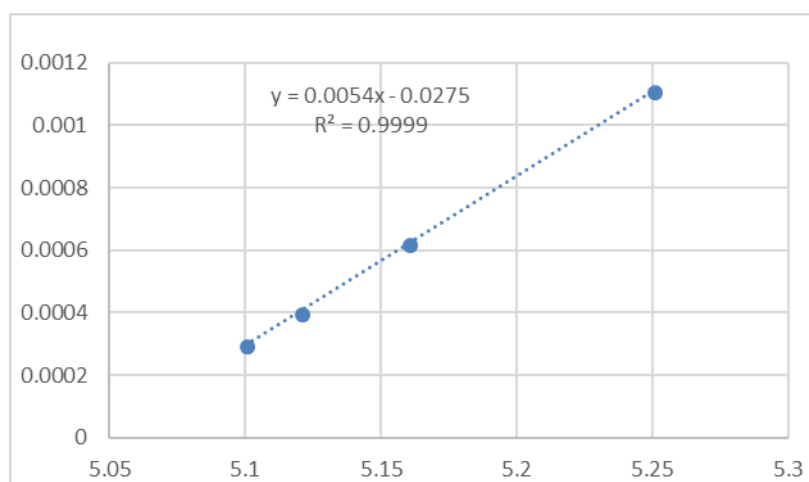


Gráfico 3 - $1/r^2$ em função de I

Trabalho laboratorial 6 – Um estudo da difração

Objetivos: - Determinar o diâmetro de um cabelo.

Na tabela A2_8 apresentamos os resultados das determinações experimentais.

Tabela 15 - resultados das determinações experimentais

| Nº | m | L (mm) | a (mm) | b (mm) | x | $\text{sen } \Theta = x/L$ | d(μm) |
|-------------|---|--------|--------|--------|------|----------------------------|-------------|
| 1 | 1 | 773 | 8 | 18 | 4 | 0,005174644 | 125,6125 |
| | 2 | 773 | | | 4,5 | 0,005821475 | 223,3111111 |
| 2 | 1 | 673 | 7 | 15 | 3,5 | 0,005200594 | 124,9857143 |
| | 2 | 673 | | | 3,75 | 0,005572065 | 233,3066667 |
| 3 | 1 | 573 | 6 | 12 | 3 | 0,005235602 | 124,15 |
| | 2 | 573 | | | 3 | 0,005235602 | 248,3 |
| 4 | 1 | 713 | 6 | 16 | 3 | 0,004207574 | 154,4833333 |
| | 2 | 713 | | | 4 | 0,005610098 | 231,725 |
| Valor médio | | | | | | | 188,8972222 |

O valor médio de um cabelo deu 189 μm.

ANEXO 3 - Os questionários



Universidade do Porto, Departamento de Física e Astronomia
Mestrado em Física e Química em Contexto Escolar.

QUESTIONÁRIO PARA OS ESTUDANTES DE ENSINO DA FÍSICA,
NA UNIVERSIDADE NACIONAL DE TIMOR LOROSÁ

Caro(a) estudante,

Atualmente frequento o Mestrado de Física e Química em Contexto Escolar, na Universidade do Porto (Portugal). No âmbito da unidade curricular *Projeto* pretendo obter informações sobre a realização de atividades laboratoriais no domínio da Ótica, que é desenvolvida no Liceu de Dili, Timor-Leste.

A sua resposta é muito importante, não só para a minha investigação, mas também para a criação de novas propostas que efetivamente potenciem a realização esta atividade.

Responda a todas as questões da forma mais sincera possível porque para a sua resposta não poso classificações de certas ou erradas.

Muito obrigada pela sua colaboração.

Investigadora: Maria Lia F. Freitas

Identificação

Nome

Idade

Distrito

Homem / Mulher

Escola

Número do Estudante

Ano de escolaridade/Semestre/ Turma

Instruções de preenchimento

Selecione uma das quatro respostas possíveis.

Coloque um (X) na coluna que melhor traduz a sua opinião.

Se pretende corrigir uma resposta, coloque uma marca (✗) na resposta que pretende anular e um X na resposta correta.

Preencha o questionário usando tinta preta ou azul.

AS LEIS DA REFLEXÃO E DA REFRAÇÃO

- 1 - A experiência ajudou-o(a) a compreender o que são os fenômenos de reflexão e de refração da luz?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Suficiente ☐ Muito

- 2 - Se a resposta foi a “Não”, explique porquê.

- 3 - Conseguiu identificar os raios incidente, refletido e transmitido?

☐ Não ☐ Sim

- 4 - Se a sua resposta foi “Não”, explique porquê.

- 5 - Conseguiu determinar o índice de refração do vidro?

☐ Não ☐ Sim

- 6 - Se a sua resposta foi “Não”, explique porquê.

- 7 - As instruções fornecidas foram úteis? E suficientes?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Suficientes ☐ Muito úteis

- 8 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

- 9 - O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?

☐ Não ☐ Suficiente ☐ Demasiado

- 10 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA FOCAL DE ESPELHOS ESFÉRICOS

1 - A experiência ajudou-o(a) a compreender o que é uma imagem real e uma imagem virtual?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

2 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

3 - A experiência ajudou-o(a) a compreender a construção de imagens?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

4 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

5 - Conseguiu realizar a montagem do trabalho?

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

6 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

7 - Conseguiu fazer o gráfico $1/q$ em função de $1/p$ e a partir do gráfico determinar f .

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

8 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

9 - As instruções fornecidas foram uteis? E suficiente?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Suficientes ☐ Muito úteis

10 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

11 - O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?

☐ Não ☐ Suficiente ☐ Demasiado

12 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

UM ESTUDO SOBRE LENTES

1 - A experiência ajudou-o(a) a compreender o que é uma imagem real e uma imagem virtual?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

2 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

3 - A experiência ajudou-o(a) a compreender a construção de imagens?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

4 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

5 - Conseguiu realizar a montagem do trabalho?

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

6 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

7 - Conseguiu fazer o gráfico $1/q$ em função de $1/p$.

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

8 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

9 - Conseguiu determinar a distância focal da lente através da análise do gráfico obtido, o qual deve correspondente a uma linha recta?

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

10 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

11 - Conseguiu caracterizar a imagem do objeto na lente?

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

12 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

13 – Conseguiu determinar a distância focal de uma associação de lentes delgadas

☐ Não ☐ Sim

14 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

15 - As instruções fornecidas foram úteis? E suficientes?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Suficientes ☐ Muito úteis

16 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

17 - O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?

☐ Não ☐ Suficiente ☐ Demasiado

18 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

UM ESTUDO SOBRE A VARIAÇÃO DE INTENSIDADE DE UMA FONTE PONTUAL A COM A DISTÂNCIA À FONTE

1 - A experiência ajudou-o(a) a compreender como a intensidade luminosa de uma fonte pontual varia com a distância?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

2 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

3 - Conseguiu fazer o gráfico de potência em função do inverso do quadrado da distância?

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

4 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

5 - As instruções fornecidas foram úteis? E suficientes?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Suficientes ☐ Muito úteis

6 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

7 - O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?

☐ Não ☐ Suficiente ☐ Demasiado

9 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

DETERMINAÇÃO DE UM PADRÃO DE DIFRAÇÃO

1 - A experiência ajudou-o(a) a compreender o conceito da difração?

☐ Não

☐ Pouco

☐ Sim

2 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

3 – Percebeu como se faz a determinação do diâmetro de cabelo?

☐ Não

☐ Pouco

☐ Sim

4 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

6 - Conseguiu realizar a montagem do trabalho?

☐ Não

☐ Sim

☐ Com dificuldade

6 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

7 - As instruções fornecidas foram úteis? E suficientes?

☐ Não

☐ Pouco

☐ Sim

8.- Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

9- O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?

☐ Não

☐ Suficiente

☐ Demasiado

10 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

UM ESTUDO DA POLARIZAÇÃO E VERIFICAÇÃO DA LEI DE MALUS

1 - A experiência ajudou-o(a) a compreender o que é a polarização da luz?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

2 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

3 - A experiência ajudou-o(a) a perceber como funciona um polarizador?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

4 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

5 - A experiência ajudou-o(a) a compreender a lei de Malus?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

6 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

7 - Conseguiu realizar a montagem do trabalho?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

8 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

9 - Conseguiu medir o ângulo entre as direções de transmissão dos polarizadores?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Sim

10 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

11 – Conseguiu comprovar a lei de Malus?

☐ Não ☐ Sim ☐ Com dificuldade

12 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

7 - As instruções fornecidas foram úteis? E suficientes?

☐ Não ☐ Pouco ☐ Suficientes ☐ Muito úteis

8 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

8 - O tempo previsto para a realização da experiência foi suficiente?

☐ Não ☐ Suficiente ☐ Demasiado

9 - Justifique a sua resposta se respondeu “Não”.

ANEXO 4 - Resultados do trabalho laboratorial implementada em Dili

A4 - Trabalho 1 - As leis de reflexão e da refração

Objetivos:

- verificar as leis da reflexão e da refração.
- determinação o índice de refração do material.

Os resultados que foram obtidos a partir das experiências são apresentados na tabela abaixo:

Tabela A4_1 - Resultados das determinações experimentais

| Ângulo incidente θ_i° | Ângulo transmitido | Ângulo refratado θ_r° | Índice refração η |
|---|-----------------------|---|------------------------------|
| 30 | 30 | 19 | 1, 52 |
| 45 | 45 | 28 | 1, 5062 |
| 60 | 60 | 36.5 | 1, 456 |

Baseando aos resultados obtidos na tabela acima, podemos obter o valor do índice de refração a partir da equação de $\eta = (\bar{x} \pm \sigma)$ e o erro percentual é determinado através da equação $E\% = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$.

A média do índice de refração obtido no resultado:

$$\bar{x} = \frac{1.52 + 1.50617 + 1.456}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{4.48063}{3}$$

$$\bar{x} = 1.4935$$

o desvio padrão:

$$\sigma = 1.52 - 1.4935$$

$$\sigma = 0.026457$$

Portanto o índice refração do material acrílico semicircular

$$\eta = 1.4935 \pm 0.0265$$

O erro percentual

$$E\% = \frac{0.026457}{1.4935} \times 100\%$$

$$E\% = 1.744\%$$

Conclusão:

Baseia-se ao resultado obtido durante o experimento mostra que o valor do ângulo incidência foi igual o ângulo transmitido como se diz na lei de Snell. O índice de refração do acrílico semicircular

é $\eta = 1.4935 \pm 0.0265$ com o seu erro percentual de $E\% = 1.744\%$. Isso significa que o instrumento nessa medição é útil para medir o índice de refração, porque o erro é muito pequeno.

c. Determinação o ângulo crítico da Substância Semicircular.

Durante esta experiência identifiquei que quando girei o acrílico semicircular até o ângulo 42.5° o raio refratado desapareceu.

A partir do ângulo 42.5° e o resultado do índice de refração obtido no experimento 1 o angulo critico podemos obter através da equação: $n_{ar} \cdot \text{Sen}\theta_i = n_{Acilrico} \cdot \text{Sen}\theta_{critico}$

Portanto:

$$\text{Sen}\theta_{critico} = \frac{n_{ar} \text{sen}\theta_r}{n_{aclirico}}$$

$$\theta_{critico} = \text{Arcsen.} \frac{1 \cdot \text{sen}42.5^\circ}{1.4935}$$

$$\theta_{critico} = 26,62^\circ$$

Segundo as tabelas do ângulo crítico no internet o angulo critico que aproximou o resultado do nosso experimento é 24° . Portanto a partir dessa informação podemos calcular o erro tabelado com a equação de $E_T = \frac{|V_T - V_e|}{V_T}$.

$$E_T = \frac{|24 - 26.62|}{24} \times 100\%$$

$$E_T = 10,9\%$$

Conclusão:

O valor esperado do ângulo crítico do bloco semicircular que utilizei no experimento é aproximadamente ao valor tabelado porque o resultado do erro tabelado de 10,9%. Isso significa o Bloco Semicírculo é o diamante.

A4 - Trabalho 2 - Determinação da distância focal de espelhos esféricos

Objetivos:

- a) determinar a distância focal de um espelho esférico.
- b) caracterizar as imagens dadas pelos espelhos esféricos.

Nesta experiência foram utilizados dois espelhos esféricos.

Na tabela A4_2(a) apresentam - se os valores obtidos pelos alunos com o espelho côncavo.

Tabela A4_2(a) - Resultados obtidos com o espelho côncavo 1 (T2)

| Nº | p/cm | q/cm | 1/p | 1/q | Caraterísticas da imagem |
|----|------|------|----------|----------|--|
| 1 | 97 | 179 | 0.010309 | 0.005587 | Imagem real, invertida, muito maior que o objeto |
| 2 | 105 | 166 | 0.009524 | 0.006024 | Imagem real, invertida, maior que o objeto |
| 3 | 122 | 132 | 0.008197 | 0.007576 | Imagem, real, invertida menor que o objeto |
| 4 | 190 | 96 | 0.005263 | 0.010417 | Imagem real invertida, muito menor que o objeto |

Com base nos valores dados obtidos, os alunos representaram graficamente 1/q em função de 1/p:

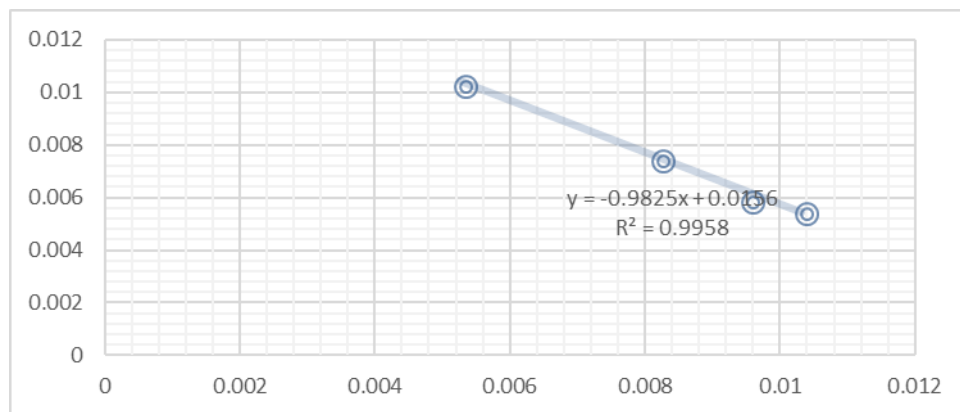


Gráfico A4_1(a)- Representação gráfica de 1/q em função 1/p (T2)

A distância focal obtida a partir da equação $1/f = 1/p + 1/q$ deu $f = 63,6$ cm com um erro de 1,13%. A distância focal calculada a partir do gráfico deu $f = 64,10$ cm, um valor relativamente próximo do anterior.

Os resultados seguintes foram obtidos a partir das experiências com o segundo espelho côncavo.

Tabela A4_1(b) - Resultados obtidos com o espelho côncavo 2 (T2)

| Nº | p/cm | q/cm | 1/p | 1/q | Caraterísticas da imagem |
|----|------|------|----------|----------|--|
| 1 | 90 | 197 | 0,01111 | 0,005076 | Imagem real, invertida, muito maior que o objeto |
| 2 | 108 | 157 | 0,009259 | 0,006369 | Imagem real, invertida, menor que o objeto. |
| 3 | 144 | 120 | 0,006944 | 0,00833 | Imagem real invertida muito menor que o objeto. |

Com base nos valores obtidos, os alunos representaram graficamente $1/q$ em função de $1/p$:

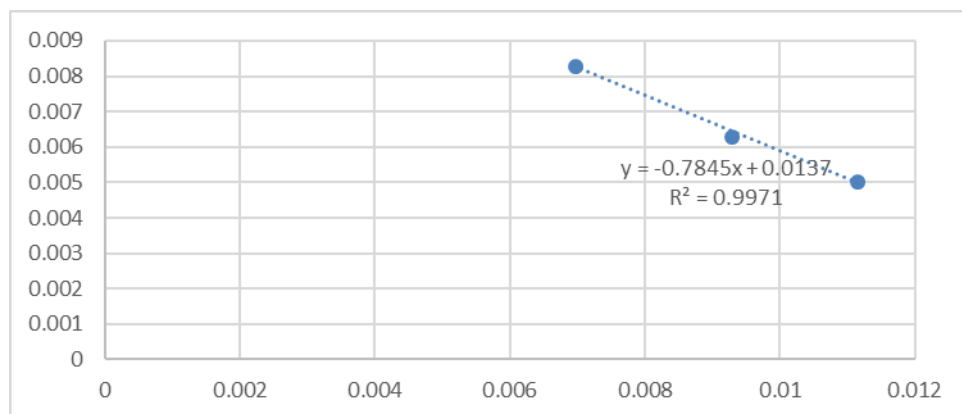


Gráfico A4_1(b)- Representação gráfica de $1/q$ em função $1/p$ (T2)

A distância focal calculada a partir do gráfico deu $f = 72,99$ cm.

Conclusão: os alunos puderam verificar as seguintes caraterísticas de imagens formada pelo espelho côncavo:

- Quando objeto está a uma distância do vértice do espelho maior que o raio a imagem é real, invertida e menor que objeto.
- Quando o objeto está entre o foco e o centro do espelho. a imagem é real, invertida e maior que objeto.
- Quando o objeto está a uma distância do vértice inferior à distância focal, a imagem é virtual, direita e maior que objeto.

A4 - Trabalho 3 – Um estudo das lentes.

Objetivos:

- Determinar a distância focal de uma lente convergente.
- Caracterizar a imagem formada por uma lente.
- Determinar a distância focal de uma associação de lentes delgadas.

Na experiência os alunos usaram duas lentes convergentes (lente 1 e lente 2) com diferentes distâncias focais. Na tabela A4_3(a) apresentam-se os resultados que foram obtidos com a lente 1.

Tabela A4_3(a) - Resultados obtidos com a lente convergente 1(T3)

| Nº | p/cm | q/cm | 1/p | 1/q | Caraterísticas das imagens |
|----|------|------|----------|----------|---|
| 1 | 16 | 139 | 0.0625 | 0.007194 | Virtual, invertida, e muito maior que o objeto. |
| 2 | 21 | 54 | 0.047619 | 0.018519 | Virtual, invertida, e maior que o objeto. |
| 3 | 31 | 28 | 0.032258 | 0.035714 | Virtual, invertida, e maior que o objeto. |
| 4 | 37 | 24 | 0.027027 | 0.041667 | Virtual, invertida, e menor que o objeto. |
| 5 | 44 | 22 | 0.022727 | 0.045455 | Virtual, invertida, e muito menor que o objeto. |
| 6 | 66 | 18 | 0.015152 | 0.055556 | Virtual, invertida, e muito menor que o objeto. |

Com base nos valores obtidos, os alunos representaram graficamente $1/q$ em função de $1/p$:

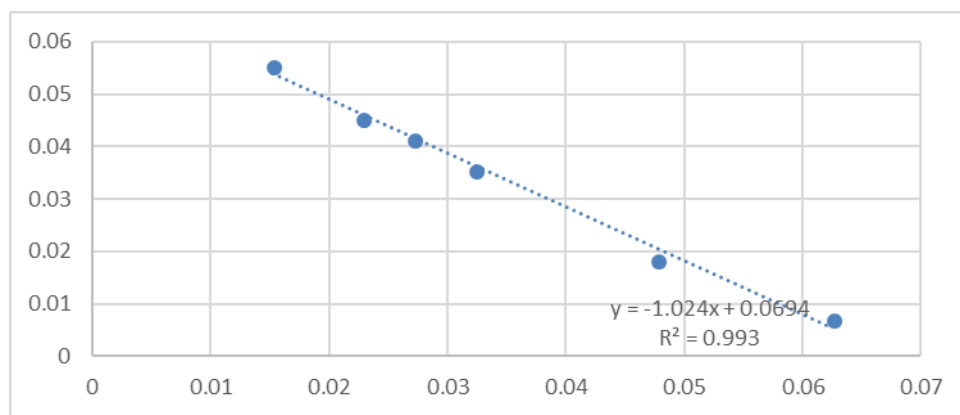


Gráfico A4_2(a)- Representação gráfica de $1/q$ em função $1/p$ (T3)

A distância focal obtida a partir da equação $1/f = 1/p + 1/q$ deu $f = 14,59$ cm com um erro de 3,264%. A distância focal calculada a partir do gráfico deu $f = 14,41$ cm, um valor relativamente próximo do anterior.

A parte seguinte do trabalho foi determinar a distância focal e a caracterização das imagens da lente 2.

Os resultados que foram obtidos a partir das experiências são apresentados na tabela A4_3(b).

Tabela A4_3(b) - Resultados obtidos com a lente convergente 2(T3)

| No | p/cm | q/cm | 1/p | 1/q | Caraterísticas das imagens |
|----|------|------|-------|----------|---|
| 1 | 17 | 213 | 0,058 | 0,004695 | Virtual, invertida, e muito maior que o objeto. |
| 2 | 21 | 75 | 0,047 | 0,013333 | Virtual, invertida, e maior que o objeto. |
| 3 | 26 | 44 | 0,038 | 0,022727 | Virtual, invertida, e menor que o objeto. |
| 4 | 36 | 30 | 0,027 | 0,033333 | Virtual, invertida, e menor que o objeto. |
| 5 | 46 | 26 | 0,021 | 0,038462 | Virtual, invertida, e muito menor que o objeto. |

Com base nos valores obtidos, os alunos representaram graficamente 1/q em função de 1/p:

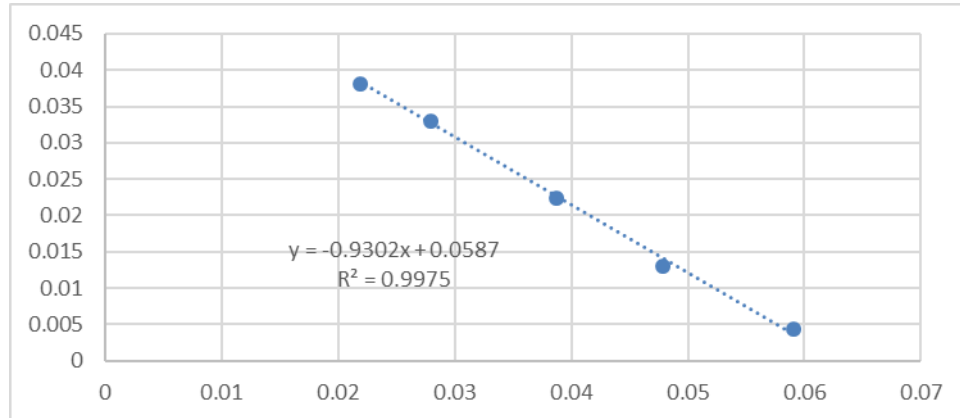


Gráfico A4_2(b) - Representação gráfica de 1/q em função 1/p (T3)

A distância focal obtida a partir da equação $1/f = 1/p + 1/q$ deu $f = 16,29$ cm com um erro de 1,95%. A distância focal calculada a partir do gráfico deu $f = 17,0$ cm, um valor relativamente próximo do anterior.

Conclusões:

A experiência permitiu aos alunos verificar que as distâncias focais das duas lentes eram diferentes.

A4 - Trabalho 4 - Um estudo sobre a variação de intensidade de uma fonte com a distância à fonte

Os resultados experimentais obtidos são apresentados na tabela A4_4.

Tabela A4_4 - Resultados obtidos com uma fonte luminosa(T4)

| nº | P(W) | r (cm) | r ² (cm) | I (W/m ²) |
|----|------|--------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 5,23 | 0,25 | 0,0625 | 16,0 |
| 2 | 5,21 | 0,29 | 0,0841 | 11,8 |
| 3 | 5,19 | 0,36 | 0,1296 | 7,71 |
| 4 | 5,18 | 0,42 | 0,1764 | 5,66 |

Com base nos valores obtidos, representaram graficamente P em função de I

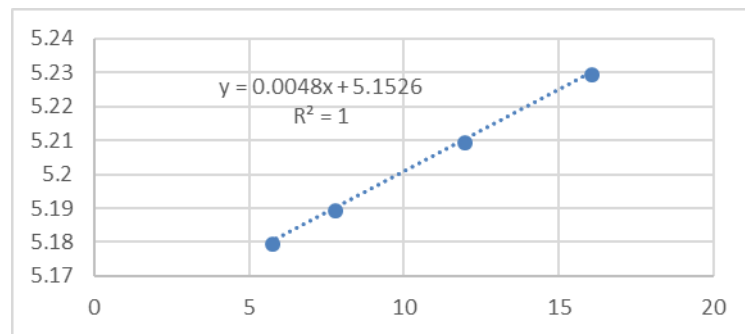


Gráfico A4_3 - Representação gráfica de P em função de I (T4)

Conclusões: se o declive do gráfico fosse constante poderíamos concluir que fonte é bem aproximada por uma fonte pontual. Se pelo contrário o declive não fosse constante teríamos de concluir que fonte usada não é aproximável a uma fonte pontual. No caso de experiência realizada, e como se pode ver do gráfico a fonte que usaram pode ser considerada pontual. E, o comportamento da intensidade luminosa com o inverso do quadrado da distância foi verificado.

A4 - Trabalho 5 Difração

Objetivos:

- Determinar o diâmetro do cabelo.
- Identificar os fatores que dão influência do diâmetro do cabelo.
- Explicar o conceito de difração.

Baseando-nos resultados obtidos, considerarmos a geometria da figura anexa (parte (a)) deveremos ter uma imagem semelhante à parte (b). Com um máximo central e mínimos à distância x . É mais fácil medir a distância entre os dois mínimos simétricos (a), ou os segundos mínimos (b). (x deve ser igual a $a/2$ e $b/4$). Como nesta experiência, os valores y foram obtidos através de medição que começamos a distância máximo central até ao primeiro zero mínimo.

O diâmetro do cabelo será dado pelo comprimento de onda λ a multiplicar por L/x ($d \approx 0,65 \lambda L/x$ em micrómetros) L e x têm que estar na mesma unidade (i.e. se medirmos L em metros, temos que entrar com x em metros).

Tabela A4_5(a) - Resultados obtidos da experiência (T5)

| No | L(cm) | M | x(cm) | Y/L ou sem Θ | d(μm) | média (μm) |
|-------|-------|---|-------|---------------------|-------|------------|
| 1 | 132 | 1 | 1,5 | 0,011 | 57,2 | 114,4 |
| | | 2 | 1,5 | 0,011 | 114,4 | |
| | | 3 | 1,5 | 0,011 | 171,6 | |
| 2 | 100 | 1 | 0,6 | 0,006 | 108,3 | 144,4 |
| | | 2 | 0,9 | 0,009 | 144,4 | |
| | | 3 | 0,9 | 0,009 | 216,6 | |
| 3 | 90 | 1 | 0,85 | 0,009 | 68,82 | 137,6 |
| | | 2 | 0,85 | 0,009 | 137,6 | |
| | | 3 | 0,85 | 0,009 | 206,4 | |
| Média | | | | | | 137,6 |

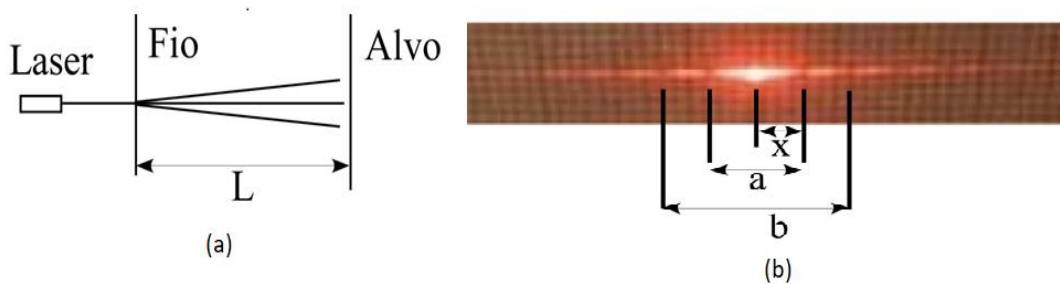
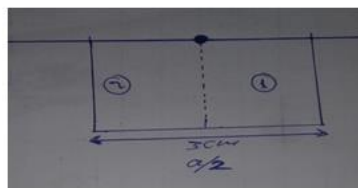


Figura 46

Uns dos exemplos entre as medições para calcular o valor y vai mostra a figura seguir como se representa no papel milímetro. Na primeira distância medimos começar o máximo central até o primeiro mínimo que representa no resultado em baixo.



(a)



(b)

Com base resultado o diâmetro do cabelo obtém-se $137,6 \mu\text{m}$ com o erro $0,047$. em alguns fatores que dá influencia são a distância entre o cabelo ao alvo, a distância entre o máximo centra até ao mínimo. Através desta experiência podemos concluir que a difração é o desvio do raio luminoso quando incide do cabelo vai aparecer no alvo a escura e luminosa que são alternadas, isto significa o cabelo é um objeto opaco que faz os raios sofrem na propagação. Este resultado é corresponde a anomalia relativa `a propagação da luz que referido pelo Francisco Grimaldi que dia “quando se coloca um objeto opaco entre uma fonte e um alvo, aparecem no alvo as franjas são escuras e claras” e chamou-lhe difração